

## Ueber hölzerne Brücken

### unter besonderem Hinweise auf amerikanische Gerüstbrücken (Trestle-Bridges).

Vortrag, gehalten am 6. November 1875 von

**Ernest Pontzen,**  
Ingenieur.

(Mit Zeichnungen auf Blatt Nr. 5.)

Zu Anfang des Jahres 1867 veröffentlichte der damalige Baudirector der Südbahn, Herr W. Pressel, ein Heft Normalpläne für die Ausführung von Eisenbahnbrücken aus Holz (Verlag der k. k. priv. Südbahn-Gesellschaft) und rügte in der Einleitung des dieser Normalien-Sammlung beigegebenen Textes, dass der wichtigen Branche des Baues von hölzernen Brücken weder in den technischen Bildungsanstalten noch von den Ingenieuren beim Baue der Bahnen die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt werde.

Als einen Vortheil, welchen die hölzernen Brücken bei verständiger Anwendung, besonders für Bahnen secundärer Bedeutung gewähren, führt der genannte Fachmann an, dass dieselben, ohne dadurch die Sicherheit der Bahnanlage zu verringern, gegenüber dem Systeme der ausschliesslichen Anwendung von Stein und Eisen als Baumaterial, die Kosten des Baues, inclusive jener der Erhaltung, auf die Hälfte, ja selbst bis auf den vierten Theil reduciren. Da nun die Kosten der Kunstbauten einer Bahn einen hervorragenden Theil der Gesamt-Baukosten bilden, so erblickt er in der Anwendung der Holzconstruktionen das Mittel, um in manchen Fällen das Zustandekommen eines Bahnunternehmens zu ermöglichen.

Als weitere Vortheile des Baues hölzerner Brücken führt dieser erfahrene Ingenieur ferner an, dass durch denselben die rasche Vollendung der Bahnen ermöglicht wird; dass derselbe eine Verminderung der gleichzeitigen Anhäufung von Arbeitskräften in einem Punkte der Baustrecke zulässt, wodurch der hieraus auf die übrigen Zweige der Bauthätigkeit sich äussernde finanziell und geschäftlich nachtheilige Einfluss vermieden wird; dass ferner die erst in späterer Epoche an Stelle der Holzconstruktionen auszuführenden definitiven Bauwerke weit solider und sorgfältiger hergestellt werden, als dies selbst bei der besten Organisation des Baudienstes bei gleichzeitiger, mit der gewöhnlichen Beschleunigung erfolgenden Erbauung von Kunstobjecten in grossem Umfange möglich wäre. Auch gestattet die erst nach einer Reihe von Jahren erfolgende definitive Herstellung, die Benützung etwaiger besserer, längs der eröffneten Bahnstrecke gelegener Materialgewinnungsstellen und die Verwendung einer dauernd beschäftigten, geübteren Mannschaft.

Obwohl Herr W. Pressel überdies noch darauf aufmerksam machte, dass die Holzbrücken dort, wo es sich um Uebersetzung von unregelmässigen Stromläufen handelt, deren Regulirung zwar in Aussicht genommen, aber noch nicht bestimmt ist, wo fortificatorische Rücksichten in's Spiel kommen, und namentlich bei Bahnen, deren Bedeutung noch zweifelhaft ist, angezeigt wären; — sehen wir bis zur Stunde auf den österreichisch-ungarischen

Bahnen die hölzernen Brücken stets noch nicht zur Geltung und richtigen Anwendung kommen.

Ferne sei es von mir, es beklagen zu wollen, dass beispielsweise jene hölzernen Brücken der Kaiser Ferdinands-Nordbahn, welche vor den Thoren Wiens über den Donau-Strom führten, und welche, obwohl sie fast jährlich vom Strome beschädigt, zu den bedauerlichsten Verkehrsstörungen Anlass gaben, bis in die neueste Zeit bestanden, endlich durch definitive ersetzt wurden; wohl aber glaube ich es als einen national-ökonomischen Missgriff bezeichnen zu dürfen, wenn, wie dies im letzten Lustrum der Fall war, für Bahnen von höchst zweifelhafter Bedeutung die definitive Herstellung der Brücken, somit der Ausschluss der Holzconstruktionen decretirt ward.

Wenn auch nicht ausschliesslich, so fällt doch ein grosser Theil des Vorwurfs, der deshalb gemacht werden darf, auf die Ingenieure, welche der Frage der Holzbrücken-Construction nicht die genügende Aufmerksamkeit geschenkt und daher auf deren, in den von Herrn Pressel so trefflich gekennzeichneten Fällen eintretende Ersparlichkeit nicht mit genügendem Nachdrucke hingewiesen haben.

Als Motiv für die Ausführung von eisernen Brücken an Stellen, wo die hölzernen durch alle vorerwähnten Bedingungen geboten waren, wird die Unterstützung der schwer darniederliegenden Eisenindustrie angeführt.

Wenn diese Rücksicht in der That bestand und Einfluss übte, so muss es nur bedauert werden, dass dieselbe keinen richtigeren Ausdruck fand, denn die mit dem Ausschlusse der Holzbrücken verbundene Vertheuerung der Bahnen hat nicht nur verzögernd auf die Vervollständigung unseres Eisenbahnnetzes gewirkt, somit durch Verringerung der zur Ausführung gelangten Bahnlängen den Consum an Eisen für die erste Herstellung sowohl als für die Instandhaltung beschränkt, sondern auch durch die Erhöhung der Herstellungskosten der Bahnen dieselben gezwungen, falls sie nicht allzu tief in die Staatscassen behufs Zahlung der Capitals-Zinsen greifen konnten oder wollten, behufs Deckung der mit dem Capitalsaufwande gewachsenen Zinsenlast die Tarife auf einer Höhe zu erhalten, welche in erster Linie der Prosperität der Eisenindustrie hinderlich ist.

Die Wichtigkeit, die Kosten für die Erbauung einer, wenngleich grosser Zukunft entgegen gehenden Eisenbahn für den Anfang möglichst zu reduciren, ward in Frankreich längst erkannt, und fand dieses Bestreben unter Anderem darin seinen Ausdruck, dass die Staatsverwaltung im Jahre 1862 die grossen Eisenbahn-Gesellschaften zur Abgabe ihrer Ansicht über die Frage aufforderte, ob es nützlich wäre, von der Forderung abzugehen, dass selbst jene Linien, die ursprünglich mit nur einem Geleise ausgeführt werden, von vorneherein die Grundeinlösung und die Erbauung der Kunstobjecte für zwei Geleise bewirken müssten.

Mit Ausnahme einer einzigen empfahlen sämmtliche grossen französischen Eisenbahn-Gesellschaften, alle mit der Ausführung des zweiten Geleises verbundenen Ausgaben bis zum Zeitpunkte des Bedarfes dieses zweiten Geleises zu verschieben.

Die „Compagnie du Midi“ äusserte sich nach verschiedenen zu Gunsten der Aufhebung der die erste Herstellung vertheuernden Vorschriften vorgebrachten Argumente in folgender, auch auf die Frage der Zulassung provisorischer Ueberbrückungen trefflich anwendbaren Weise: „Der grösste Vortheil läge aber darin, das Capital der ersten Herstellung in richtigeres Verhältniss zum unmittelbaren Erträgniss zu bringen und diese beiden Elemente nur gleichzeitig wachsen zu lassen. — Es ist dies das von den Amerikanern sogar zu weit getriebene Princip, aber auch die Uebung in allen gut geordneten industriellen Etablissements, in welche man sich wohl hütet, von vorneherein grosse Capitalien behufs übertriebener Erweiterungen zu investiren, sondern die Vermehrung der Herstellungskosten nur mit jener der Erzeugnisse parallel fortschreiten lässt.“

Die „Compagnie de Lyon-Méditerranée“ weist überdies auf die für den Staat selbst aus der Verminderung der ersten Herstellungskosten erwachsenden Vortheile hin, indem sie sagt: „Das National-Vermögen ist unzweifelhaft daran interessirt, dass Nichts vernachlässigt werde, um das Capital zu reduciren, welches auf den Bau von Bahnen verwendet werden soll, deren Erträgniss mit wenigen Ausnahmen kaum die Lasten und in manchen Fällen nicht einmal die Betriebskosten decken werden.“

In einem im Jahrgange 1862 der „Annales des Ponts et Chaussées“ erschienenen Artikel beleuchtete der derzeitige k. k. Sections-Chef und General-Director des österreichischen Eisenbahnwesens Herr W. von Nördling die angeregte Frage der verfrühten Herstellungen für das zweite Geleise und gelangt, gestützt auf eingehende Berechnungen, zu einer Schlussfolgerung, die wohl auch zu Gunsten der Zulassung hölzerner Brücken in Bahnen, welche zu Beginn ihres Bestandes geringes Erträgniss liefern, spricht.

Indem Herr von Nördling nämlich allerdings erkennt, dass durch die nachträgliche, zur Aufnahme des zweiten Geleises nöthige Verbreiterung der Bauwerke die Summe der Bauauslagen grösser sein werde, als wenn die zweigeleisige Herstellung von vorneherein erfolgt wäre; — was bei ursprünglicher Erbauung von Holzprovisorien und nachträglicher Herstellung der definitiven Bauwerke nicht immer der Fall sein wird; — gelangt er zum Schlusse, dass:

„Die hieraus erwachsende Vermehrung der Ausgaben durch die aufgelaufenen Zinsen des (ursprünglich) ersparten Capitals gedeckt wird, und zwar bei Kunstbauten nach vier Jahren, bei . . .“

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Frage der sofortigen oder nachträglichen Herstellung der Bauobjecte für zwei Geleise im Allgemeinen ungleich grösseren Einfluss auf die Herstellungskosten einer Meile Bahn übt, als jene der Zulassung der Holz-Provisorien. — Wenn jedoch, wie dies bei uns in Oesterreich bis nun der Fall ist, das Geld zum Baue der Bahnen durch Emission von Titres mit einem bedeutendem Disagio aufgebracht wird, während, wenn die Bahn einmal im Betriebe ist und gute Erträgnisse abwirft, Mittel geboten sind, um weitere Summen unter günstigeren Bedingungen beizuschaffen, so verdienen selbst geringe Oekonomien, welche an den ersten Herstellungskosten gemacht werden können, unsere volle Beachtung.

Die Ersparnisse, welche sich dort, wo hölzerne Ueberbrückungen überhaupt zulässig sind, durch deren Herstellung erzielen lassen, wechseln je nach den örtlichen Verhältnissen so sehr, dass sich diesbezüglich ein allgemeiner Ausspruch nicht thun lässt.

So fand z. B. Herr W. Pressel, dass die Kosten der Ueberbrückung einer circa 130<sup>m</sup> weiten und 30<sup>m</sup> tiefen Schlucht mittelst eines gemauerten Viaductes 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub>mal so viel betragen als die der Ueberbrückung mittelst einer auf hölzernen Pfeilern ruhenden Holzbrücke. Der Vergleich eines aus Gusseisen zu erbauenden 60<sup>m</sup> hohen Viaductpfeilers mit einem gleichartigen, jedoch aus Holz herzustellenden, ergab, dass letzterer nur 37% der für ersteren ermittelten Kosten verursachen würde, und das Kostenverhältniss hölzerner und eiserner Brücken von 25<sup>m</sup> bis 50<sup>m</sup> Spannweite stellte sich annähernd wie 1 zu 3 heraus.

In manchen Fällen ergibt sich der Vortheil der Holzüberbrückungen nicht direct in so hohem Grade aus dem Vergleiche der Herstellungskosten der fraglichen Bauwerke, sondern liegt er vielmehr in der Förderung des Baues durch Verkürzung der Baudauer, somit in der Ermöglichung der früheren Betriebseröffnung.

Allerdings gibt es auch Fälle, in welchen die Herstellung einer hölzernen Brücke soviel oder gar mehr Kosten verursachen würde als die einer aus Mauerwerk oder Eisen erbauten. Unter solchen Umständen wird man sich wohl nur in den seltensten Fällen durch die sonstigen Vortheile der Holzconstruction zu einer provisorischen Ausführung bestimmen lassen. Als Beispiel einer Brücke, welche ganz aus Mauerwerk hergestellt, weniger kostete, als wenn man die Gewölbe durch Bohlenbögen ersetzt hätte, kann die im Jahre 1843 zur Ausführung gelangte Loire-Brücke bei Montlouis genannt werden. Je ein von Pfeilerachse zu Pfeilerachse gemessenes Feld dieser Brücke, deren Gewölbe bei 25<sup>m</sup> Spannweite 4.5<sup>m</sup> Pfeilhöhe hatten, kostete circa 27.000 Gulden, während bei Anwendung der Bohlenbögen ein Brückenfeld um circa 500 Gulden mehr gekostet hätte. Dass die bei der erwähnten Brücke obwaltenden Preisverhältnisse von den im Allgemeinen in Oesterreich-Ungarn gegenwärtig noch bestehenden wesentlich verschieden waren, zeigen die folgenden Einheitspreise: Das zur Verwendung bestimmte Holz hatte nämlich per Cubik-Meter nur 45 und für Bruchsteinmauerwerk nur 12 bis 17 Gulden per Cubik-Meter gezahlt ward.

Während das oben angeführte Beispiel zu den Seltenheiten gezählt werden kann, sind die Fälle, in welchen die Abneigung gegen Bauherstellungen provisorischen Charakters, die Vorliebe für monumentale Bauten oder das Verbot der Zulassung hölzerner Herstellungen den Ausschlag zu Ungunsten der hölzernen Ueberbrückung gab, sehr zahlreich.

Aus den vielen mir diesbezüglich bekannten Fällen will ich nur einen — allerdings einen der grellsten — anführen. Ich will von dem Zsittin-Viaducte sprechen, welcher auf der vorzüglich zum Kohlentransporte erbauten Flügelbahn

Oravitza-Steyerdorf\*) im Jahre 1863 vollendet ward. Dieser Viaduct übersetzt das Thal, in welchem nur ein Bach läuft, an einer Stelle, an welcher die grösste Höhe des Schienenniveau's über der Thalsohle circa 38<sup>m</sup> beträgt. Die mittlere, von einer Eisenconstruction überspannte Oeffnung misst 31·6<sup>m</sup>; zu jeder Seite dieses Feldes, auf welchem die Bahn in gerader Richtung geführt ist, befinden sich zwei aus Ziegelmauerwerk hergestellte halbkreisförmige Gewölbe von je 15·8<sup>m</sup> Spannweite, auf denen die Bahn in Curven von 114<sup>m</sup> Krümmungshalbmesser geführt ist. Die Pfeiler und Widerlager sind aus Quader- und Bruchsteinmauerwerk hergestellt. Die von Widerlager-Ende zu Widerlager-Ende in der Achse des Viaductes gemessene Länge beträgt 134<sup>m</sup> und die mittlere Höhe des Viaductes in dieser Ebene 28·75<sup>m</sup>, somit die Aufrissfläche 3852·5<sup>qm</sup>. Dieser Viaduct kostete in runder Summe circa eine halbe Million Gulden, und sind hierin die Kosten der Baugerüste mit circa 68.000 Gulden inbegriffen. Als dieses Bauwerk projectirt wurde, waren seine Kosten allerdings auf weniger als die Hälfte jenes Betrages veranschlagt, den sie dann in Wirklichkeit, theils durch allgemeine Preissteigerung, theils in Folge übertriebener Anforderungen an die Ausstattung erreichten; doch selbst diese präliminirten Kosten hätten schon zur Unterlassung dieses, zu einer Montanbahn ganz ausser Verhältniss stehenden Prachtbaues führen sollen. In der That kostete der Viaduct per Quadrat-Meter Aufrissfläche circa 130 Gulden. Ich werde im Folgenden Gelegenheit haben, von den nach americanischem Systeme hergestellten Holzüberbrückungen zu sprechen, die, wenn irgend wo, gewiss in jenem Thale im südlichen Ungarn (Banate), auf der Kohlenbahn Oravitza-Steyerdorf angezeigt gewesen wären. Aus Analogie mit ausgeführten hölzernen Brücken lässt sich wohl behaupten, dass bei den Preisen, welche zu jener Zeit im Banate für das in Gerüsten verwendete Holz gezahlt wurden (25 bis 27 Gulden per Cubik-Meter), der Quadrat-Meter Aufrissfläche der hölzernen Ueberbrückung nur höchstens 10 bis 15 Gulden, somit die ganze Holzbrücke je nach der Constructionsart höchstens 40.000 bis 60.000 Gulden gekostet hätte. Die Kosten der behufs Erbauung des definitiven Viaductes erforderlich gewesen Gerüste hätten somit reichlich ausgedient, um die provisorische Ueberbrückung herzustellen und die Mehrausgabe von über 400.000 Gulden hätte wohl bis heute und vielleicht noch Jahre lang verzögert werden können.

Da auf der besprochenen Montanbahn überdies ein zweiter ähnlicher Viaduct und mehrere, wenn auch minder bedeutende, doch zu grösseren Bauobjecten Anlass gebende Schlucht-Uebersetzungen, welche alle aus Mauerwerk oder Eisen hergestellt wurden, vorkommen, so darf wohl die Oekonomie in der ersten Herstellung, welche bloss durch Ausführung von Holzüberbrückungen bei dieser einzigen 30·7<sup>km</sup> langen Bahn hätte realisirt werden können, auf mindestens eine Million Gulden geschätzt werden.

Dieses einzige Beispiel genügt, um zu zeigen, dass die Zulassung hölzerner Brücken bei den vielen in den letzten

Jahren in Oesterreich-Ungarn zur Ausführung gelangten Bahnen, deren doch nur eine sehr geringe Zahl von vornherein auf bedeutenden Verkehr zählen dürfte, die Reduction des ursprünglich zu investirenden Capitales um viele Millionen Gulden gestattet hätte.

Darauf, dass überdies die Baudauer in den meisten Fällen hätte durch solche Art der Bauherstellung reducirt, die Bahnen also eher eröffnet, somit die während des Baues auflaufenden, aus dem Capitale gezahlten Zinsen des bereits verwendeten Geldes verringert hätten werden können, habe ich bereits hingewiesen.

Der grosse Einwand, den man gegen Holzbrücken erhebt, ist der, dass selbe grössere Erhaltungskosten verursachen, und dass deren Dauer eine beschränkte ist.

Sowohl der eine als der andere Umstand wird in der Regel übertrieben, denn in der That werden grössere Erhaltungsausgaben in der Regel erst nach einer Reihe von Jahren nöthig und erstrecken sich die damit bestrittenen Arbeiten nur auf die Erneuerung einzelner schadhaft gewordener Hölzer. Durch solche Auswechslungen wird aber die Dauer der ganzen Construction wesentlich erhöht, und kann es diesbezüglich kein eclatanteres Beispiel geben als jenes der Save-Brücke nächst Poganek in der Linie Wien-Triest. Diese nach dem Systeme Howe aus Lärchenholz im Jahre 1849 erbaute Brücke von drei Feldern, deren jedes eine Spannweite von circa 57<sup>m</sup> hat, besteht noch heute, und die Mehrzahl der die Tragwände bildenden Hölzer ist noch in so gutem Zustande, dass bis nun der Bestand dieser vor 26 Jahren erbauten, in einer der befahrensten Strecken des österr. Eisenbahnnetzes liegenden Brücke als durchaus sicher betrachtet wird. Alljährlich werden einzelne vornehmlich der Brückenbahn angehörige schadhaft gewordene Holzstücke, ohne Betriebsstörungen zu verursachen, durch neue ersetzt. Die um acht Jahre später, auf derselben Linie, nach gleichem Systeme erbaute Brücke über den Laibach-Fluss, welche zwischen Laibach und Franzdorf liegt, zeigt ein gleich befriedigendes Verhalten. Eben so können die von der Theissbahn-Gesellschaft nächst Szolnok und Tokay in den Jahren 1857, resp. 1858 über den Theiss-Fluss, auf hölzernen Jochen erbauten, noch heute bestehenden hölzernen Sprengwerkbrücken mit Feldern von 19<sup>m</sup> bis 23<sup>m</sup> Spannweite, hier genannt werden.

Bei den vorerwähnten Brücken war sowohl das zur Herstellung der Streben verwendete Lärchenholz als das für die Stütz-Klötze verwendete Eichenholz nicht präparirt, sondern eben nur rechtzeitig gefälltes, gutes Holz. Dass die Dauer des Holzes durch entsprechende Behandlung mit antiseptischen Stoffen wesentlich gesteigert werden kann, ohne dass dadurch weder die Tragfähigkeit verringert, noch die Kosten erheblich erhöht werden, ist ein im letzten Decennium gemachter Fortschritt, von dem bis nun leider nur zu wenig Vortheil gezogen wird.

Der Hinweis auf Holzconstructions, die nach 5 bis 6 Jahren schon baufällig wurden, kann vor der Zulassung des Holzes zum Brückenbau auf Eisenbahnlinien nicht abschrecken. Es eifert die Kenntniss vereinzelter solcher Brücken nur dazu an, beim Baue von Holzbrücken nicht in dieselben Fehler zu verfallen, die in jenen Fällen das

\*) In der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins, Jahrgang XVII (1865), Pag. 205, findet sich eine Besprechung dieser von der österr. Staatseisenbahn-Gesellschaft erbauten Montanbahn.

verfrühte Zugrundegehen herbeiführten, somit nicht etwa Holz zu verwenden, das zur unrechten Zeit gefällt ward; dasselbe in der Brückenconstruction, wenn thunlich, wohl zu überdecken, doch nicht vom Luftzuge abzuschliessen; die Stirnenden desselben nicht in Gusschuhe einzuschliessen, welche die Feuchtigkeit ansammeln, und endlich je nach der Dauer, die man dem Objecte sichern will, auch die richtige Holzart und Anspruchnahme zu wählen.

Immerhin wird es aber angezeigt sein, schon beim Baue der Holzbrücken auf die seinerzeitige Ersetzung durch definitive Bauwerke Bedacht zu nehmen. Aus diesem Grunde sofort, schon zur Aufnahme der Holzträger gemauerte Pfeiler herzustellen, welche auch die definitive Ueberbrückung zu tragen geeignet wären, scheint mir durchaus nicht gerathen, denn durch den Bau definitiver Pfeiler gehen die wesentlichsten Vortheile der provisorischen Ueberbrückungen verloren. Die Pfeiler sind es ja, die oft wegen ihrer Fundirungen die meiste Zeit und die bedeutendsten Kosten erfordern.

In der bereits eingangs erwähnten Arbeit des Herrn W. Pressel zeigt derselbe, wie die Stellung der Widerlager und Joche oder Holzpfeiler der provisorischen Ueberbrückungen gewählt werden müssen, um in der Folge ohne Betriebseinstellung die definitiven Pfeiler errichten und auch die definitive Brückenbahn herstellen zu können.

Die bei Verwendung von Holz zu wählenden Constructions-Systeme sind je nach den obwaltenden Verhältnissen natürlich verschieden. Den wesentlichsten Einfluss auf diese Wahl üben sowohl die Spannweite der Brückenfelder als auch die Dimensionen und die Natur des zur Verfügung stehenden Holzes.

Wie bei jeder zu erbauenden Brücke, so ist auch bei Holzbrücken die Frage der den einzelnen Feldern zu gebenden Spannweite in erster Linie zu lösen. Wenn nicht die Aufrechthaltung einer für Schifffahrtzwecke vorgeschriebenen lichten Spannweite, oder die Vermeidung des Einbaues eines Joches oder Pfeilers in ein reissendes Wasser oder sonst ähnliche Rücksichten obwalten, welche von vorneherein die Spannweiten wenigstens einzelner Theile einer Ueberbrückung vorzeichnen, so ist es die ökonomische Seite der Frage, die der Ingenieur in's Auge fassen muss, um die Spannweite der Felder zu bestimmen, und er wird zu untersuchen haben, ob es vortheilhafter ist, die Zahl der Stützpunkte zu vermindern, hingegen aber die Kosten der Bahnträger zu erhöhen, oder aber die Zahl der Joche zu vermehren und die Spannweite der Brückenträger, und dadurch auch deren Kosten zu verringern.

In den mir bekannten Fällen der Herstellung langer hölzerner Brücken ging man in Europa selten unter das Maass von 15<sup>m</sup> \*), sehr oft aber bis zu weitaus grösseren

\*) Eine solche Ausnahme bildete die von Herrn M. M. Freiherrn von Weber zu Anfang des Jahres 1854 auf der sächsisch-schlesischen Eisenbahn, in Folge des Einsturzes einer gemauerten Brücke, erbaute „Tiefendorfer Interimsbrücke“. Diese provisorische hölzerne Brücke hatte in ihrer Construction die grösste Analogie mit den im Nachfolgenden beschriebenen amerikanischen Gerüstbrücken.

Die Joche waren in Abständen von 4-5<sup>m</sup> errichtet, und die einseitige Bahn ward von Längenbalken, die durch einfache Sprengwerke unterstützt waren, getragen. — Die grösste Höhe dieser Brücke betrug

Spannweiten, welche zur Anwendung verschiedenartiger Tragwände Anlass gaben.

In Amerika, wo auf die rasche und wohlfeile erste Herstellung das richtige Gewicht gelegt wird, und das Holz noch in vielen Gegenden so leicht zu beschaffen ist, wie nur mehr in einigen Theilen von Oesterreich-Ungarn, findet das Holz zur Herstellung von Ueberbrückungen noch sehr allgemeine Anwendung \*), und zwar bald als nahezu ausschliessliches, bald als gleichzeitig mit Guss- und Schmiedeisen in die Constructionen aufgenommenes Baumaterial.

Die ganz aus Holz erbauten Brücken werden nicht nur an Stelle von in der Folge zu erbauenden definitiven Viaducten oder Brücken, sondern häufig statt nur mit grossem Geld- und Zeitaufwande herstellbarer Aufdämmungen benützt \*\*).

Der Einwand, dass man doch in den meisten Fällen die grossen Dämme aus dem in benachbarten Einschnitten gewonnenen Materiale bildet, und dass somit nur in den seltensten Fällen die Herstellung der Dämme mehr Zeit erfordern könne, als die Eröffnung der Einschnitte, — wird wohl kaum gemacht werden, da doch häufig nur mit Rücksicht auf eine vortheilhafte Massenvertheilung, d. h. auf einen günstigen Ausgleich zwischen Abgrabungs- und Auffüllungsmasse, die Trace so gelegt wird, dass Abgrabungsarbeiten in die Nähe der unvermeidlichen Aufdämmungen fallen.

Nimmt der Ingenieur jedoch schon bei Bestimmung der Bahn-Trace und Nivelette darauf Rücksicht, dass in erster Linie statt der grossen Aufdämmungen Holzviaducte zur Ausführung kommen, so wird er auch die tiefen Einschnitte vermeiden, welche, abgesehen von dem Zeit- und Geldaufwande bei der ersten Herstellung, auch auf den Betrieb der Bahn oft nachtheiligen Einfluss ausüben. — Allerdings hat diese Art der Berücksichtigung der Bauausführung aber häufig zur Folge, dass die Holzviaducte durch allgemeine Hebung der Nivelette oder dadurch, dass der Bahnkörper weniger tief in die Lehnen eingeschnitten wird, eine grössere Höhe erhalten als die durch sie ersetzten Anschüttungen, welche aus Nachbar Einschnitten erzeugt worden wären.

27-2<sup>m</sup> und waren die, dieser Höhe entsprechenden Joche sowohl durch Querbalken als durch Längenbalken in 6 Etagen getheilt. — Entsprechend angebrachte St. Andreaskreuze verliehen diesen hohen Jochen, deren grösste Breite an der Basis 13-5<sup>m</sup> betrug, die genügende Steifigkeit.

Da die definitiv reconstruirte Brücke rasch ausgeführt worden war, hatte die provisorische hölzerne Brücke nicht ganz ein Jahr lang in Verwendung gestanden. — Mit Einschluss der Schmiedeisen-Verbindungen hatte der Currentmeter dieser hölzernen Brücke (und zwar der 27<sup>m</sup> hohe Theil) ungefähr 230 Gulden Silber, somit der □<sup>m</sup> 8 1/2 Gulden gekostet.

\*) Die „Keystone Bridge Company“, deren in Pittsburgh (Pennsylvania) bestehende Werke sich zwar hauptsächlich mit dem Baue eiserner Brücken beschäftigen, hatte vom Jahre 1865 bis zum Jahre 1873 nicht weniger als 143 hölzerne Brücken, von zusammen circa 14.500<sup>m</sup> Spannweite für verschiedene Bahnen zu bauen.

\*\*) Bereits in meinen „Vorschlägen zur Förderung des Eisenbahnbaues“ erwähnt. (Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines, 1873, Heft XVIII, und Separatabdruck im Verlage von R. von Waldheim.)

Die Constructions-Systeme, nach welchen in Amerika die ganz oder theilweise aus Holz zusammengesetzten Brücken erbaut werden, sind sehr mannigfaltig. Ich glaube hier die Brückenbalken-Systeme von Town, Long, Howe, Pratt, Post, Murphy und Whipple und wie sie alle heissen, nicht näher beschreiben zu müssen, da selbe theils in Oesterreich schon angewandt wurden — wie z. B. das System Howe bei der vorerwähnten Poganeker Brücke — theils aber aus Publicationen \*) bereits mehr oder weniger bekannt sind.

Gelegentlich einer Reise in den Vereinigten Staaten fiel mir jedoch eine, namentlich bei Thalübersetzungen öfter angewandte Construction hölzerner Viaducte auf, die meines Wissens hier zu Lande nicht genügend bekannt ist, und meines Erachtens geeignet wäre, auch in Oesterreich-Ungarn unter ähnlichen Verhältnissen wie in Amerika gute Dienste zu leisten.

Ich spreche von den „Trestle bridges“, die ich „Gerüstbrücken“ nennen werde.

Die charakteristischen Merkmale dieser Gerüstbrücken sind: die Reduction der Spannweiten auf ein geringes Maass, — in der Regel 4<sup>m</sup> bis höchstens 8<sup>m</sup>; — die sehr einfache, durch die geringe auf jeden Pfeiler entfallende Last ermöglichte Pfeilerconstruction, die in Etagen von geringer Höhe erfolgende Theilung der Gesamthöhe und die dadurch wieder eröffnete Möglichkeit der Verwendung relativ kurzer Constructions-Elemente zur Erbauung der höchsten Ueberbrückungen.

Die eigentlichen Brückenträger dieser Gerüstbrücken sind entweder blos Längsbalken oder einfache Sprengwerke, und reduciren sich die Pfeiler zu Jochen von nur einer Piloten-Reihe, denen bei beträchtlicher Gesamthöhe die nöthige Steifigkeit durch die in jeder Etage angebrachten von Joch zu Joch reichenden Querverbindungen gegeben wird.

In früheren Jahren war die Zahl der derartig construirten Ueberbrückungen sehr gross, und es gab nur wenige Bahnen in Amerika, die nicht mehrere grössere ganz aus Holz ausgeführte Gerüstbrücken übersetzten.

Wie im Brückenbaue überhaupt, so haben auch im Baue der Gerüstbrücken die Fortschritte der Eisenindustrie einen Umschwung herbeigeführt, ohne jedoch weder das Gerüstbrücken-Constructions-System noch das Holz ganz zu verdrängen. Bald sind die in letzterer Zeit ausgeführten Gerüstbrücken ganz aus Holz, bald nur die Joche, bald auch ein Theil der Brückenträger, hingegen in manchen Fällen sogar alle früher aus Holz gebildeten Constructions-Elemente durch Guss- oder Schmiedeisen ersetzt.

Nur der Vollständigkeit halber liefere ich auf Blatt 5 Fig. 9, 10, 11 und 12, die Zeichnungen der auf der

\*) — Travaux Publics aux Etats-Unis d'Amérique, par Mr. Malézieux. — Paris 1873. —

— The Kausas-City Bridge by O. Chanute & G. Morison. — New-York 1870. —

— Iron Truss Bridges for Railroads by Col. W<sup>m</sup> E. Merrill. — New-York 1870.

— Mehrere Aufsätze in der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines; insbesondere jener des Herrn J. G. Schön: Mittheilungen über Brückenbauten in Nordamerika. — Jahrgang 1873. —

Union-Pacific-Bahn für sehr geringe Höhen angewandten Constructionen der ganz aus Holz hergestellten Ueberbrückungen.

In der Regel wird es bei uns zwar kaum vorkommen, dass man für Bauobjecte oder Dämme von weniger als 5<sup>m</sup> Höhe hölzerne Provisorien aufführen wollen wird, doch kann es sich ereignen, dass die Zulassung derselben grosse Vortheile brächte. Ich hatte selbst Gelegenheit, einen Lehnbau auszuführen, bei welchem einzelne Aufdämmungen, wenn selbe eine gewisse Höhe überschritten, ein Abgleiten des Bodens, auf welchem sie ruhten, hervorriefen. Die zur Consolidirung und Entwässerung der so sehr beweglichen Lehne ausgeführten Arbeiten erwiesen sich zwar in der Folge als zulänglich, um den auf ganze Höhe ausgeführten Dämmen eine entsprechende Stabilität zu sichern, es wäre jedoch, wenn vor der Eröffnung des Betriebes auf dieser Eisenbahn alle Dämme auf ihre ganze Höhe hätten ausgeführt werden müssen, die Betriebseröffnung um viele Monate verzögert worden, denn die Wirkung der in der durchnässten und bereits in Bewegung gerathenen Lehne ausgeführten Entwässerungs-Arbeiten trat natürlich erst nach Monaten in dem erforderlichen Maasse ein. Der Einsicht des zu jener Zeit an der Spitze der königlich ungarischen Baudirection gestandenen Baudirectors Herrn W. von Prangen war es zu danken, dass es gestattet wurde, von der wahrhaften Danaïdenarbeit, der steten Erhöhung derartiger Dämme, abzulassen und die fehlende Höhe provisorisch, nämlich bis zur erfolgten Consolidirung der in Bewegung gerathenen Lehne, durch einen hölzernen Aufbau zu ersetzen, der mit dem auf der Union-Pacific-Bahn für geringe Höhen ausgeführten Gerüstbrückenbau grosse Aehnlichkeit hatte.

Ich glaube hier noch auf ein, mir nachahmenswerth scheinendes Detail in der Zusammenfügung der vorerwähnten Gerüstbrücken der Union-Pacific-Bahn aufmerksam machen zu sollen. — Es werden nämlich auf jene Verbindungs-Schrauben, welche die zu einem Ganzen zu verbindenden Balken zusammen pressen, gusseiserne Ringe (Fig. 13) so aufgeschoben, dass zwischen je zwei Nachbar-Balken sich ein solcher Ring eingeschaltet befindet. Beim Anspannen der Schrauben werden die scharfen Kanten der Ringe in das Holz eingepresst, und erfüllen dieselben dadurch alle Zwecke, welche man sonst durch das Einsetzen von Keilen anstrebt.

Da die gusseisernen Ringe sich unter dem centralen Drucke der Schrauben stark in das Holz eindrücken, kann das Einschneiden der Balken, welches für die Keile selten mit einer absoluten Genauigkeit gemacht wird, somit ausser der Schwächung der Balken auch den Uebelstand der nur theilweisen Anspruchnahme der Keile mit sich bringt, unterlassen werden. — Ebenso entfällt durch diese Ringe die Nothwendigkeit der Einlegung jener Bohlenstücke zwischen je zwei Nachbar-Balken, durch welche sowohl das Absplittern nächst den eingelassenen Keilen verhindert, als der behufs Luftzutritt erwünschte Zwischenraum geschaffen wird.

Unter den für grössere Höhen ausgeführten hölzernen Gerüstbrücken fand ich die einfachsten auf der sich in „Ogden“ an die Union-Pacific-Bahn anschliessenden „Central-Pacific-Bahn“. — Ich gebe auf Blatt 5, Fig. 3,

4 und 6, die Normal-Zeichnungen einer solchen Schlucht-übersetzung und glaube, indem ich für das Weitere auf die Zeichnungen verweise, nur noch darauf aufmerksam machen zu sollen, dass bei diesen Brücken, statt der Keile, Querhölzer in die zusammengesetzten Tragbalken eingesetzt sind, die, indem sie in beide zusammengesetzten Balken eingreifen, zugleich eine Querverbindung bilden.

Die geringe Distanz von nur circa 4·9<sup>m</sup> (16 englischen Fuss) von Jochmitte zu Jochmitte macht diese Art der Ueberbrückungen zur Uebersetzung von grösseren Wasserläufen natürlich unanwendbar, auch wurde deshalb in manchen Fällen an eine Gerüstbrücke anschliessend eine Brücke mit grossen Spannweiten erbaut. — Das im 3. Hefte des XXIV. Jahrganges dieser Zeitschrift auf Blatt Nr. 6, Fig. 6, gegebene Bild der 268<sup>m</sup> langen und 36·6<sup>m</sup> hohen „Long Ravine“-Brücke zeigt eine derartige Anordnung. Auch ist aus demselben zu entnehmen, dass die Ausführung von Gerüstbrücken durchaus nicht auf gerade Bahnstrecken beschränkt ward.

Bei sehr hohen Gerüstbrücken, welche überdies dem Anfall starker Stürme ausgesetzt sind, wie z. B. bei der „Dale Creek“-Brücke auf der Union-Pacific-Bahn, sind in der Ebene jedes Joches starke, vom Bahniveau ausgehende eiserne Zugstangen angebracht, welche in beträchtlicher Entfernung vom Fusse der Joche im Boden verankert sind.

Unter Benützung kürzerer doch stärkerer Hölzer, mit grösseren Jochdistanzen und daher mit zahlreicheren St. Andreas-Kreuzen, sowie mit Tragbalken, welche von Sprengwerken gestützt sind, führte die „Philadelphia and Reading-Eisenbahn“ ihre Gerüstbrücken aus, und zeigt Blatt 5 in Fig. 2, 7 und 8 eine derartige Construction.

Ohne daran gehen zu wollen, noch zu können, von allen Varianten der in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ausgeführten hölzernen Gerüstbrücken Zeichnungen zu liefern, gebe ich auf Blatt 5 in Fig. 1 und 5 noch die Skizze einer solchen auf der nach Cincinnati führenden Zweiglinie der „Louisville, Cincinnati & Lexington-Eisenbahn“ im Jahre 1868 erbauten hölzernen Gerüstbrücke, welche heute wohl schon in dem an deren Stelle beabsichtigten Damme begraben ist.

Ein gleiches Loos dürfte übrigens schon manche der von mir im Jahre 1873 besichtigten „Trestle Bridges“ ereilt haben. — Ich hatte selbst Gelegenheit, die Verschüttung einer nächst der Station Laramie auf der Union-Pacific-Bahn bestanden Gerüstbrücke vornehmen zu sehen. Dies geschah durch Absturz des in den nächsten Einschnitten mittelst Trocken-Baggermaschinen gewonnenen Materials. In diesem Falle ward somit die ursprünglich unter Benützung des Holz-Providoriums gewählte Trace beibehalten, — was, wie man mir mittheilte, nicht immer geschieht.

Wird die Trace beibehalten, so werden in der Regel nur jene Balken aus dem Gerüste beseitigt, welche bei der successiven in horizontalen Schichten erfolgenden Aufschüttung der Setzung des Materials hinderlich werden könnten, während sowohl die Joche als insbesondere die Tragbalken, auf welchen die Schienen ruhen, zur Verhütung der Folgen ungleichmässiger Setzungen in dem Damme bleiben.

Die Fundirung der Joche ist bei den hölzernen Gerüstbrücken meist eine sehr einfache und besteht je nach der Natur des Bodens, auf welchem der Bau ausgeführt ist, entweder aus vier bis sechs in einer Reihe eingetriebenen Piloten, auf welche die Sohlbank direct aufgesetzt wird, oder aus einem gemauerten Sockel. Häufig begnügte man sich damit, unter den Sohlbalken Bohlen- oder Balkenstücke von einigen Fuss Länge der Quere nach anzubringen, um so die Last auf eine grössere Auflagerfläche zu vertheilen.

Die per Joch entfallende Belastung ist eben in Folge der geringen Entfernungen, in welchen diese aufgestellt sind, selbst eine geringe; — so z. B. beträgt bei Abständen von 5<sup>m</sup> und bei einer Höhe der Gerüstbrücke von circa 15<sup>m</sup> das auf jedes Jochfundament übertragene Gewicht unter Zugrundelegung einer zufälligen Belastung von 10.000<sup>kg</sup> per Current-Meter Bahn und eines durchschnittlichen Eigengewichtes der Gerüstbrücke von rund 3000<sup>kg</sup> per Current-Meter, nur 65.000<sup>kg</sup>. Für den Fall, als ein solches Joch sich auf vier Piloten von je 0·30<sup>m</sup> Durchmesser stützt, entfällt somit per □ Centimeter der Piloten nur die geringe Last von circa 23<sup>kg</sup>.

Widerlager werden bei den Gerüstbrücken ganz vermieden, indem man die Gerüste bis zum Anschlusse an das Terrain oder so weit in den sich anreihenden, mit einer frontalen Böschung abschliessenden Damm fortsetzt, dass keinerlei besondere Construction behufs Stützung des Erdreiches nöthig wird.

Der per □<sup>m</sup> Aufrissfläche erforderliche Holzbedarf zur Herstellung einer Gerüstbrücke wird je nach der Entfernung der Joche, je nach der Höhe der Brücke, je nach der Festigkeit des verwendeten Holzes und je nach dem Grade der für zulässig erachteten Anspruchnahme desselben verschieden sein, im Durchschnitte kann man jedoch annehmen, dass man für eine eingeleisige, in gerader Richtung erbaute, 7<sup>m</sup> bis circa 15<sup>m</sup> hohe hölzerne Gerüstbrücke, deren Joche in Entfernungen von 5<sup>m</sup> bis 8<sup>m</sup> stehen, und welche in Etagen von 4<sup>m</sup> bis 6<sup>m</sup> getheilt ist, per Quadrat-Meter Aufrissfläche 0·16 bis 0·20<sup>km</sup> Holz braucht.

Um den, sich auf die Verschiedenheit zwischen den in Amerika und den bei uns in Oesterreich für Holz gezahlten Preisen stützenden Einwand gegen die Ausführung hölzerner Brücken auf das richtige Maass zu reduciren, will ich nun die in verschiedenen Punkten Nordamerika's erhobenen Holzpreise mittheilen.

Die Einheit, nach welcher Bauholz gemessen wird, ist in Amerika der „foot board measure“, d. i. ein Parallelepiped von einem Quadrat-Fuss Basis und einem Zolle ( $\frac{1}{12}$  Fuss) Höhe. — Da der Preis des Holzes stets unter wird, so sei noch bemerkt, dass 1000 F. b. m. annähernd 74% österr. Cubik-Fuss oder 2·26 Cubik-Meter entsprechen.

Die grossen Verschiedenheiten aller Art, welche auf dem ausgedehnten Gebiete der Vereinigten Staaten bestehen, und insbesondere das Vorhandensein oder der Mangel guter Land-Transportwege — und mehr noch etwaiger Wasserstrassen, finden ihren Ausdruck in den Holzpreisen.



Während nächst Buffalo der Preis des Tannen-, Fichten- und Eichen-Bauholzes per Cubik-Meter circa  $15\frac{3}{4}$ ,  $17\frac{1}{2}$ , respective 25 Gulden beträgt, kosten diese selben Hölzer im Innern des Staates New-York, je nachdem als man mehr oder weniger entfernt von den Schiffahrts-Canälen ist, per Cubik-Meter um 3 bis 4 und selbst um 6 Gulden mehr. Im Innern des Staates Pennsylvanien werden diese selben Bau-Holzgeattungen im Durchschnitte mit 22, 26 respective 34 Gulden per Cubik-Meter gezahlt. — Da die Handarbeit durchschnittlich ungefähr doppelt so theuer ist als hier zu Lande, so kömmt der Cubik-Meter Holz selbst in den einfachen Gerüstbrücken verwendet um weitere 10 bis 15 Gulden höher zu stehen.

Nirgends in Amerika ist wohl ein so bedeutender Holzhandel wie in dem am Ufer des von Waldungen umsäumten „Michigan-See“ gelegenen „Chicago“. — Die Preise des roh behauenen Tannen-, Fichten- oder Eichen-Bauholzes sinken dort bis auf 8, 9, resp.  $10\frac{1}{2}$  Gulden per Cubik-Meter. — In „San Francisco“ schwankt der Preis des daselbst nahezu ausschliesslich verwendeten „Redwood“ (eine Art Cedernholz) zwischen 15 und 22 Gulden per Cubik-Meter Bauholz.

Unter den geschilderten Verhältnissen, nämlich mit Rücksicht darauf, dass in den Vereinigten Staaten der Taglohn der Arbeiter sehr hoch, der Preis des Holzes aber gering — ja bei einigen Bahnbauten nur insofern in Betracht zu ziehen kam, als er die Kosten der Fällung des Baumes, des Behauens und der Bringung in sich schloss, während für das Holz selbst nichts zu zahlen war, — wäre es verzeihlich gewesen, wenn bei der Construction der hölzernen Brücken der Material-Ersparniss keine grosse Aufmerksamkeit zugewendet worden wäre. Dessenungeachtet finden wir bei den in Amerika aus Holz hergestellten Brücken nirgends Material-Verschwendung.

Ich glaube diesen Umstand weniger den Ersparungs-rücksichten, als vielmehr der, jedem amerikanischen Ingenieur innewohnenden gerechten Scheu vor dem Ueberflüssigen zuschreiben zu müssen.

### Discussion,

welche sich an vorstehenden am 6. Nov. 1875 gehaltenen Vortrag anschloss:

Herr Baudirector Bode: Ich werde mir erlauben, einige Bemerkungen an den Vortrag des Herrn Pontzen anzuknüpfen. Der Vortragende bemerkte unter Anderem, dass die Arbeitskräfte, namentlich bei einem Eisenbahnbaue, bei welchem eine grössere Anzahl von bedeutenden Objecten hergestellt werden soll, sehr schwer zu haben sind. Dagegen muss ich das Eine zu bedenken geben, dass gerade jene Arbeitskräfte, welche man zur Herstellung hölzerner Brücken braucht, noch viel schwerer zu beschaffen sind, dass also dies allein keinen Anlass bieten kann, hölzerne Brücken zu verwenden.

Doch dieses nur nebenbei. Ich möchte aber auf einen anderen, wichtigeren Umstand aufmerksam machen. Zur Zeit nämlich, als unser allbekanntes verehrtes Vereinsmitglied, Herr Pressel seine Holzconstructions zu Tage gefördert hat, waren die Eisenpreise andere als heute. Zu jener Zeit, als er seine Normalien für die Holzbrücken herausgab, waren die Preise für Eisenconstructions 25—30 fl. per Ctr., heute aber bekommt man solche Brückenbestandtheile für 15—20 fl. per Ctr. Dieser Umstand ist nicht zu unterschätzen. Was die Ausführung der Holzbrücken in Oesterreich selbst anbelangt, so hat Herr Pontzen schon erwähnt, dass viele derartige Brücken in Holz ausgeführt worden sind, so dass also in Oesterreich die Holzbrücken

durchaus nicht stiefmütterlich bedacht sind. Es wurde unter Anderem aber auch der grösseren Holzbrücken der Südbahn gedacht, welche allerdings noch heute bestehen und die nach Howe'schem System erbaut sind. Ich habe Gelegenheit gehabt, einen solchen Howe'schen Träger einer Südbahnbrücke auszuwechseln, der 15 Jahre im Betriebe gestanden hat; es war dies an der Marburger Brücke. Bei der Demolirung dieser Brücke haben alle daran Betheiligten sehr interessante Erfahrungen über den Zustand des Holzes gemacht. Es waren die einzelnen Theile und die Balken des Howe'schen Trägers, nämlich die oberen und unteren Gurtungen anscheinend noch ganz gesund, und doch waren sie thatsächlich vollständig vermorscht. Es ist also das Bedenken, welches man einer Holzconstruction bezüglich ihrer Dauerhaftigkeit und Festigkeit entgegenträgt, wohl kein so unbegründetes. Es treten da Momente auf, die wir gar nicht zu beurtheilen und zu überwachen im Stande sind.

Die Erwähnung der Howe'schen Brücken führt mich dahin, zu bemerken, dass dies nun wohl die solideste bekannte Holzconstruction ist, welche wenigstens diese Nachtheile der anderen Holzconstructions, nämlich das fortwährende Durchschlagen und Verziehen, nicht besitzt.

Aber jeder Fachmann wird zugestehen, dass diese Brücken so theuer sind, dass, wenn man die heutigen Holz- und Eisenpreise in Betracht zieht, es kaum mehr Jemandem einfallen wird, einen solchen Howe'schen Träger zu machen.

Was die Sparsamkeit bei der ersten Herstellung einer Brücke betrifft, so ist gewiss die grösste Aufmerksamkeit eines Eisenbahn-Ingenieurs auf dieselbe zu richten, aber diese kann doch nur so weit gehen, als sie auch die Bahnerhaltungskosten in Betracht zieht, und zahlreiche Beispiele beweisen, dass diese Erhaltungskosten in kurzer Zeit zu einer solchen Höhe steigen, dass eine Eisenbahn-Verwaltung, welche solche Objecte ausgeführt hat, zur schleunigsten Reconstruction der Holzbrücken schreiten muss.

Ich weise auf ein flagrantes Beispiel, nämlich auf die Südbahn hin, welche auf der Strecke Kanizsa-Barcs nach dem Pressel'schen System solche Brücken gebaut hat und sie in wenigen Jahren durch Eisenconstructions ersetzen musste.

Ich möchte noch auf ein Moment aufmerksam machen, und das ist die Beschaffung des Holzes. Es wird viel von unserem Waldreichtum gesprochen; wer sich aber in unseren Wäldern ein wenig umsieht, selbst in Gegenden, die anscheinend sehr holzreich sind, wird finden, dass die Beschaffung dieses Holzes mit riesigen Schwierigkeiten verbunden ist. Wenn auch der Schlagpreis des Holzes ganz gering ist, so sind doch die Förderungskosten des Holzes so enorm, dass dies für jede grössere Construction, die in Holz auszuführen ist, wohl zu überlegen kommt.

Ich erlaube mir noch ein kleines Argument hervorzuheben, welches mir sehr nahe liegt. Ich hatte als Bauunternehmer einer Eisenbahnstrecke in Ungarn hölzerne Brücken herzustellen. Diese Gegend war gerade nicht holzarm, und doch habe ich mich nach sorgfältiger Berechnung und Ueberlegung dazu verstanden, diese allerdings nur kleinen hölzernen Objecte sämmtlich mit steinernen Widerlagern auszuführen, weil die Beschaffung des Holzes und der Arbeiter solche Schwierigkeiten bereitete, dass es viel ökonomischer war, ohne Entschädigung von Seite des Bauherrn diese Widerlager aus Steinen herzustellen.

Ich könnte somit durchaus nicht die Empfindungen des Herrn Pontzen theilen, welcher diese Constructions zu decretiren empfiehlt, obwohl ich anerkenne, dass das Holz ein sehr werthvolles Baumaterial ist, welches jeder Bau-Ingenieur sehr gut zu schätzen weiss. Es ist kein Zweifel, dass es in hundert und hundert Fällen die grössten Dienste leistet. Ein Provisorium aus Holz, wie es Herr Pontzen bei den grossen Thalübersetzungen erwähnte, ist natürlich nicht durch irgend ein anderes Baumaterial zu ersetzen. Also ich will dem Holz durchaus kein Misstrauensvotum geben, sondern nur auf den rechten Standpunkt zurückgeführt haben, wenn ich bemerkte, dass es in den meisten Fällen doch der sorgsamsten Berechnung zu unterziehen ist, ob die Ersparung so gross ist, dass man bei den immer niedriger werdenden Eisenpreisen und bei den stets steigenden Holzpreisen wieder mehr zu den Holzconstructions zurückgreifen solle, als dies heute der Fall ist.

Herr Pontzen: Den von Herrn Bode vorgebrachten Bemerkungen und Einwendungen gegenüber erlaube ich mir vor Allem zu

betonen, dass ich weit entfernt war und bin, die Construction hölzerner Brücken als eine zu decretirende Bauart hinzustellen. Ich wünschte nur, dass man Holzconstructions dort, wo selbe angezeigt sind, auch ausführen dürfe.

Indem ich nun um Nachsicht bitte, falls ich in der weiteren Beantwortung von der Reihenfolge abweiche, in welcher Herr Bode die einzelnen Fragen vorbrachte, muss ich zunächst die Mittheilung, dass Herr Bode als Bauunternehmer es vorgezogen hat, Widerlager zu mauern, statt sie aus Holz herzustellen, als eine Bestätigung meiner Ansicht über hölzerne Widerlager begrüssen. Auch bezweifle ich nicht, dass er noch lieber die Herstellung von Widerlagen ganz unterlassen und durch die früher angedeutete Verlängerung der Holzbrücke ersetzt hätte.

Bezüglich des von Herrn Bode erhobenen Einwandes gegen die durch den Bau von Provisorien zu vermeidende Ansammlung von allzuviel Arbeitern, erlaube ich mir, da ich dies nicht genügend klar gesagt zu haben scheine, zu bemerken: dass ich in diesem Punkte die Ansicht des Herrn Pressel, welche übrigens auch die meine ist, citirte.

Dass es Fälle geben könne, in welchen die Vermeidung zu grosser Arbeiter-Concentrationen von geringem Belange sein könne, sowie dass es auch vorkommen könne, dass Mangel an Zimmerleuten eintrete, gebe ich gerne zu, da die Verhältnisse auf Bauplätzen doch unendlich mannigfaltig sind.

Der vom geehrten Herrn Vorredner erfolgte Hinweis auf die gegenwärtig sehr niederen Eisenpreise und dessen hieraus zu Ungunsten der Ausführung hölzerner Provisorien abgeleitete Aeusserung veranlasst mich, darauf aufmerksam zu machen, dass der principielle Ausschluss des Holzes aus der Reihe der Materialien, welche zur Brückenherstellung verwendet werden dürfen, zu einer Zeit erfolgte, als das Eisen noch sehr theuer war. Bei Bahnen, welche in den Jahren 1864 bis 1872 erbaut wurden und von welchen man wohl nicht hätte glauben sollen, dass sie einer grossen Zukunft entgegengingen, waren hölzerne Brücken als unzulässig erklärt worden. Wenn ich die Namen dieser Bahnen nennen würde, müssten die geehrten Herren mir wohl beipflichten, dass unter allen Umständen hölzerne Brücken für dieselben als zulässig hätten erkannt werden müssen.

Bezüglich der Aeusserung über den gefährlichen Zustand, in welchem man die hölzerne Drau-Brücke bei Marburg gelegentlich der Abtragung vorfand, muss ich gestehen, dass ich dies nur zum Anlasse nehmen kann, Jenen Vorwürfe zu machen, deren Pflicht es gewesen wäre, für die gute Erhaltung der Brücke zu sorgen. Die noch bestehenden hölzernen Brücken, deren eine schon 26 Jahre in Verwendung ist, werden gründlich untersucht, bieten volle Sicherheit und man hofft, sie durch Erneuerung einzelner Holzstücke noch lange betriebsfähig zu erhalten.

Die vom geehrten Herrn Vorredner erwähnten Misserfolge der auf der Linie Kanizsa-Barcs ausgeführten hölzernen Brücken betrachte ich als den Hinweis auf einen Fall, welcher uns Gelegenheit bietet, aus begangenen Fehlern nützliche Lehren für die Zukunft zu ziehen. Meines Wissens wurden die Brücken auf genannter Linie, obwohl selbe für längeren Gebrauch in Aussicht genommen waren, aus Tannenholz hergestellt. Ob dieses nun zur richtigen Zeit gefällt worden war, ob dessen Anspruchnahme etwa zu gross; kurz, welche Ansserachtlassungen an dem ungewöhnlich raschen Zugrundegehen Schuld tragen, wäre wohl der Untersuchung werth.

Dass man hölzerne Brücken nur dort bauen solle, wo man hiezu geeignetes Material zur Verfügung hat, habe ich schon erwähnt, und bemerke nur noch, dass ich den Bau hölzerner Brücken in Gegenden, in welchen das geeignete Holz nicht vorfindlich ist, ebenso tadle, wie den Bau steinerner Brücken, wenn man an Steinmangel leidet.

Immerhin kann für die Herstellung der hölzernen Brücken, selbst wenn man über kein Holz von genügender Dauer verfügt, der Vortheil der raschen Herstellung, somit die Verkürzung der Baudauer Ausschlag gebenden Einfluss üben.

Herr Bode: Noch eine kleine Bemerkung bezüglich der Marburger Brücke. Ich wollte nicht missverstanden werden, indem ich sagte, dass zu der damaligen Zeit diese Brücke in dem desolatesten Zustande gefunden wurde. Diese Brücke war anscheinend in bestem

Zustande, es waren aber Bestandtheile derselben zu Grunde gegangen, die sich dem Auge des Ingenieurs absolut entziehen, Bestandtheile, welche auszuwechseln mit den grössten Schwierigkeiten verbunden gewesen wäre. Wenn man von 3 Gurtungsträgern den mittleren auswechseln soll, so ist dies sehr schwer durchzuführen. Dies wollte ich nur zu meiner vorigen Bemerkung zum besseren Verständnisse hinzufügen.

Herr Honvéry: Ich bin ein entschiedener Gegner der provisorischen Brücken. Was Herr Pontzen angeführt hat, eignet sich sehr für grosse Gesellschaften; diese können immerdar das leisten, während kleine Bahnen, kleine Gesellschaften leichter in der ersten Zeit vorbrücken zu Grunde gehen. Da sind die kleinen Gesellschaften viel schlimmer daran, wenn sie später die Kosten für die Reconstruction oder die definitiven Bauten aufbringen müssen. Wenn wir die Schwierigkeiten, grössere Objecte in Holz auszuführen, im Auge behalten, finden wir, dass dieselben zu gross wären, um massenhaft Holzconstructions anzubringen.

Wenn Herr Pontzen von Eichen- und Lärchenholz gesprochen hat, so glaube ich, dass solche Constructions immerhin eine längere Dauer gewähren würden, aber da wäre der Kostenpunct schon wieder ein anderer. Was aber das weiche Holz betrifft, so muss man trotz der sanguinischen Ansichten, die so viele Holzconstructeurs haben, noch immer darauf Rücksicht nehmen, dass sich bei uns Devastationen vorgefunden haben, dass man gerade in den schönsten Holzgegenden fast durchgehends windbrüchiges Holz findet und bekommt. Wenn man solches Holz hat, wie es sich bei der Demolirung der Häuser in der Nähe des künftigen Burgtheaters findet, dann allen Respect; aber ich weiss nicht, was wir in Wien bei den Bauten der letzten Zeit, nämlich bei den Holzdecken-Constructions, in 8—10 Jahren noch erleben werden! Wer in die Leopoldstadt kommt, kann sich übrigens überzeugen, was das weiche Holz für Erfolge aufweist. Die Ferdinandsbrücke wurde vor kaum 2 Jahren ausgewechselt, und sie hat jetzt so fuhr, Bedenken über deren Sicherheit aufkamen.

Herr Ziffer: Ich bin auch der Ansicht, dass Eisenbahnen nur billig gebaut werden sollen, namentlich solche, die blosser Industriebahnen sind, oder die keinen grossen Verkehr haben; aber es ist auch sehr die Wahl der Construction und die Wahl des Ortes, wo sie anzuwenden ist, in Berücksichtigung zu ziehen. Ich glaube nicht, dass sich diese Construction, die sogenannte Gerüstbrücke, sehr häufig wird anwenden lassen. Es wird sich diese Construction zur Ueberbrückung von Thalübergängen empfehlen, aber zur Ueberbrückung von Flüssen, und das ist es hauptsächlich, was bei Eisenbahnen vorkommt, sind Holzbrücken gewiss verwerflich, namentlich, wenn es sich darum handelt, ein Flussgebiet zu überbrücken, wo Gebirgswässer, reissende Ströme u. s. w. sind. Ich habe viele solche Erfahrungen gemacht, und weiss viele Unterbrechungen des Verkehrs, die dadurch hervorgerufen worden sind, dass auf den Eisenbahnen hölzerne Joche und Holzbrücken ausgeführt worden waren. Ich glaube auch bemerken zu sollen, dass wir in der nächsten Nähe Wiens solche Erfahrungen gemacht haben, und zwar gerade bei der Donaubrücke. Aber noch ein Umstand ist hervorzuheben, der auch in's Gewicht kommt, und hier gar nicht berücksichtigt wurde. Mir sind auch Fälle bekannt, wo hölzerne Eisenbahnbrücken vollständig verbrannt sind und der Verkehr deswegen auf eine lange Dauer unterbrochen werden musste.

Also ich bin im Principe damit einverstanden, dass für gewisse Eisenbahnen Holzbrücken verwendet werden sollen; wo es sich z. B. um die Ueberbrückung von Thalübergängen handelt, empfiehlt sich um die Ueberbrückung von Thalübergängen handelt, empfiehlt sich gewiss dieses System, aber wo es sich um die Ueberbrückung eines Flussgebietes, reissender Gewässer handelt, müsste ich die Anwendung von Holzbrücken im Vorhinein verwerflich finden.

Herr Pontzen: Ich erlaube mir bezüglich dieses letzteren Einwandes darauf hinzuweisen, dass ich selbst an geeigneter Stelle davon Erwähnung that, dass die Gerüstbrücken, wenn sie Thäler, in welchen Flüsse sich befinden, übersetzen sollen, durch Brücken von grösseren Spannweiten unterbrochen werden. Der dem besprochenen Constructionssystem diesbezüglich gemachte Vorwurf ist somit nicht zutreffend. Auch habe ich darauf hingewiesen, dass man Holz durch entsprechende Behandlung mit verschiedenen Stoffen dauerhafter machen kann. Wo



man somit kein gutes Lärchenholz hat, wird man sich mit imprägnirtem Holze minderer Gattung behelfen können, und bei der Wahl des antiseptischen Stoffes darauf bedacht sein, einen solchen zu wählen, der das Holz auch minder entzündlich macht.

Herr Ziffer: Es würde vollständig richtig sein, wenn es möglich sein würde, ein Flussgebiet mit einer Oeffnung zu überbrücken. Es kommt zwar vor, dass man 50 oder 100<sup>m</sup> einbauen kann, aber nehmen wir gerade die Donau. Würde es sich bei der Donau empfehlen, eine Holzbrücke auszuführen, und was würde die Erhaltung einer Holzbrücke bei einem Flussgebiete kosten, wo von Jahr zu Jahr die Joche wegen Unterwaschung auszuwechseln sind, wo man Steinwürfe einsetzen muss und man hunderttausende Cub.-Klafter Steinmaterial dazu braucht? Was kostet nur die übrige fortwährende Erhaltung, das Anziehen der Schrauben und Keile bei Brücken; ich habe es gesehen bei der Nordbahn, die hat jeden einzelnen Bestandtheil mit der Jahresnummer bezeichnet, und von vier zu vier Jahren werden alle Bestandtheile ausgewechselt. Für Thalübersetzungen untergeordneter Bahnen und Bahnen mit sehr geringem Verkehre bin ich einverstanden, weil, wie ich überhaupt glaube, die Bahnen in Oesterreich billig gebaut werden müssen, wenn man überhaupt eine Eisenbahn bauen will.

Der Vorsitzende: Da Niemand mehr das Wort wünscht, erkläre ich die heutige Sitzung für geschlossen.

### Nachtrag.

In der Discussion, welche sich am 6. November d. J. an meinen Vortrag über hölzerne Brücken anschloss, wurde auf die häufigen Reparaturen hingewiesen, welche an der aus Holz erbauten, über den durch Wien ziehenden Donau-Arm führenden „Ferdinands-Brücke“ vorgenommen werden müssen.

Weit entfernt, die Ferdinands-Brücke als eine solche bezeichnen zu wollen, bei welcher die Ausführung aus Holz gerechtfertigt ist, glaube ich dennoch, da dieselbe nun einmal genannt worden ist, und da mir die eingehende Untersuchung dieser, einer gründlichen Reparatur unterzogenen Brücke durch die Zuvorkommenheit des Herrn Vice-Baudirectors Arnberger und seiner Ingenieure ermöglicht ward, mit einigen Worten auf die im Jahre 1819 erbaute Ferdinands-Brücke zurück kommen zu sollen.

Die allerdings häufig vorkommenden, durch Reparaturen hervorgerufenen Störungen des sehr lebhaften Verkehrs sind vornehmlich nur durch das rasche Zugrundegehen der hölzernen Fahrbahn verursacht, während nur in den Jahren 1842, 1850, 1864 und nun im Jahre 1875 Reconstructions-Arbeiten an den hölzernen Tragbalken nöthig wurden.

Die Ferdinands-Brücke besteht aus zwei Feldern von je 34<sup>m</sup> Spannweite. Die gespannten hölzernen Roste, welche die Brückenträger bilden, ruhen auf zwei gemauerten Widerlagern und einem ebenfalls gemauerten Mittelpfeiler. In jedem der Brückenfelder sind 26 Träger angebracht und ist jeder dieser 52 Träger aus je drei übereinander liegenden Balken in der Weise hergestellt, dass dieselben durch Verzahnung und eingesetzte Holzkeile zu einem 0·94<sup>m</sup> hohen und 0·32<sup>m</sup> breiten Ganzen verbunden sind. Die Sprengung der Träger ist eine solche, dass die Pfeilhöhe 1·30<sup>m</sup> beträgt.

Das zum Baue der Brücke verwendete Holz war durchgängig Fichtenholz, und es wurden die Träger durch einen dicken Theer-Anstrich vor Zutritt der Feuchtigkeit geschützt.

In die untere Fläche jedes Trägers ist die Jahrzahl der Herstellung eingeschnitten, und war es daher möglich, mit Bestimmtheit anzugeben, in welchem Jahre jeder der 52 Träger eingelegt worden ist.

Zu Ende des Jahres 1875 ruhte die Ferdinands-Brücke auf

17 Trägern vom Jahre 1819

4 „ „ „ 1842

14 „ „ „ 1850

17 „ „ „ 1864

Bei der eingehenden Untersuchung des Zustandes dieser 52 Träger hat es sich gezeigt, dass 10 derselben ganz beseitigt und durch neue ersetzt werden müssen; dass jedoch bei 19 Trägern mehr oder minder umfassende Reparaturen deren Belassung ermöglichen, und dass die übrigen 23 Träger noch in gutem Zustande sind.

Von Interesse dürfte es sein, einen Blick auf die nachstehende Tabelle zu werfen, aus welcher zu ersehen ist, wie sich diese verschie-

denen Grade der Erhaltung auf die vorangegebenen Verwendungsepochen des Holzes vertheilen.

Jahr seit welchem die Träger sich in der Brücke befinden	Zahl der Ende 1875 von den ver- schiedensten Verwendungs- Jahren noch vorhandenen Träger	Ende 1875 erhobener Zustand der Träger		
		ganz schlecht, daher zu entfernen:	theilweise schlecht, daher zu repariren:	gut, daher zu belassen:
		Zahl der so befundenen Träger: In Procenten ausgedrückte Menge:		
1819	17	$\frac{2}{12\%}$	$\frac{5}{29\%}$	$\frac{10}{59\%}$
1842	4	$\frac{—}{—}$	$\frac{3}{75\%}$	$\frac{1}{25\%}$
1850	14	$\frac{1}{7\%}$	$\frac{5}{36\%}$	$\frac{8}{57\%}$
1864	17	$\frac{7}{41\%}$	$\frac{6}{35\%}$	$\frac{4}{24\%}$
Zusammen oder Durchschnitt:	52	$\frac{10}{19\%}$	$\frac{19}{37\%}$	$\frac{23}{44\%}$

Fast man speciell das Verhalten des bei der Erbauung im Jahre 1819 verwendeten Fichtenholzes in's Auge, so ersieht man, dass:

nach 23 Jahren, d. i. im Jahre 1842 beseitigt wurden: 4 Träger oder 8%  
 „ 31 „ „ „ „ 1850 „ „ 14 „ „ 27%  
 „ 45 „ „ „ „ 1864 „ „ 17 „ „ 33%  
 „ 56 „ „ „ „ 1875 „ „ 7 „ „ 13%  
 somit im Ganzen nach 56jähriger Benützung 42 „ „ 81%  
 während noch 10 „ „ 19%

als zur weiteren Benützung tauglich befunden wurden.

Namentlich das im Jahre 1864 verwendete Holz zeigt weitaus ungünstigere Verhältnisse, und ist dies wohl hauptsächlich dem Theer-anstriche zuzuschreiben, welcher, wenn das verwendete Holz vor Auftragung desselben feucht ist, nicht nur nicht conservirend, sondern geradezu nachtheilig wirkt.

Bei den ganz unbrauchbar gewordenen Trägern, sowie bei den der Reparatur bedürftigen, zeigte sich die ärgste Zerstörung in der Nähe der durch das Holz geführten eisernen Schrauben. Diese Alteration dehnte sich vornehmlich in der Richtung der Holzfasern aus, während oft in demselben Querschnitte, in welchem die Schraube sass, noch gesundes Holz vorkam.

Die aus Weissbuchenholz erzeugten Keile waren ganz morsch.

Für Jene, welche sich mit der Erhaltung hölzerner Bauwerke zu beschäftigen Gelegenheit hatten, werden vorstehende Wahrnehmungen nichts Neues bieten; — ich erwähnte sie hier nur, weil vor unser aller Augen gegenwärtig ein Bauobject blossgelegt ist, welches deutlich zeigt, wie sehr ein falsch angewendetes Conservations-Mittel (hier der Theer-Anstrich) die Dauer des Holzes verkürzen kann; — wie sehr der grosse Druck auf das die Schrauben umgebende Holz, vereint mit der chemischen Action des sich oxydirenden Eisens, das Holz zerstört; — wie wenig das für sonstige Verwendung vorzüglich geeignete Weissbuchenholz für Bauzwecke verwendbar ist; — wie sehr aber hingegen gutes Holz geeignet ist, und wenn es auch nicht den meist sehr theueren Gattungen, der Eiche oder der Lärche angehört, viele Jahrzehnte lang vorzügliche Dienste zu leisten.

Im December 1875.

Ernest Pontzen.

### Ueber die Genauigkeit der Längenmessung mittelst Kette.

Von

Josef Wastler,

Professor der Geodäsie an der k. k. technischen Hochschule in Graz.

In neuerer Zeit wurde in der „Zeitschrift für Vermessungswesen“ ein ziemlich lebhafter Streit geführt über die Genauigkeit der Längenmessung mittelst Kette und Messstangen. Während die Einen den mittleren Fehler der

Längenmessung, gemäss der Methode der kleinsten Quadrate, der Quadratwurzel aus der Länge proportional setzen, (Hypothese I), nehmen die Anderen an, dass der Fehler der Länge direct proportional sei (Hypothese II), was, wie sie sagen, dem „praktischen Gefühle“ besser entspreche. Professor Jordan in Carlsruhe hat sich der Mühe unterzogen\*), an den bis dahin veröffentlichten Ketten-Doppelmessungen verschiedener Geometer die beiden Hypothesen zu erproben, und bei dieser Untersuchung abwechselnd eine und die andere als wahrscheinlicher bestätigt gefunden. Zum Schlusse hat er, da die zweite Hypothese „theoretisch haltlos“ ist, und da auch andere Gründe praktischer Natur für die erste Hypothese sprechen, den mittleren Fehler  $\mu$  der Messung einer Linie von 1<sup>m</sup> Länge unter Annahme der Hypothese I berechnet und gefunden:

$$\mu = 0.0107^m.$$

Zur Bestimmung des Werthes  $\mu$  bei Stangenmessungen hat Jordan circa 100 von seinen Schülern mit Messstangen ausgeführte Doppelmessungen benützt und daraus erhalten:

$$\mu = 0.00412^m,$$

aus welchen Werthen er nachfolgende Tabelle zusammenstellte.

Gemessene Länge	Mittlerer Fehler einer Messung mit	
	Kette	Messstangen
10 <sup>m</sup>	0.034 <sup>m</sup>	0.011 <sup>m</sup>
50	0.076	0.025
100	0.107	0.035
150	0.131	0.043
200	0.151	0.049
250	0.169	0.055
300	0.185	0.061

Da nun trotz der innigen Ueberzeugung des genannten Fachmannes für die erstere, durch die Autorität der wissenschaftlichen Fehlertheorie gehaltene Hypothese, trotz der sehr richtigen Bemerkung desselben\*\*), dass „die Konsequenzen der Beanstandung des fraglichen Gesetzes auf nichts Geringeres, als Umstürzung der ganzen Methode der kleinsten Quadrate führen“, es dennoch nicht gelungen war, alle aus der Praxis genommenen Daten mit der wissenschaftlichen Theorie in Einklang zu bringen, so blieb die Frage noch immer eine offene und der Wunsch nach neuen und zahlreichen Messversuchen übrig, mit deren Hilfe die Frage endlich endgiltig zur Entscheidung gebracht werden könnte.

Es bot sich mir die Gelegenheit, aus den zahlreichen Längenmessungen mittelst Kette, welche bei der in den Jahren 1869 bis 1872 unter meiner Leitung vollzogenen Aufnahme der Stadt Graz ausgeführt wurden, ein hinreichendes Materiale wenigstens für die Beurtheilung der Kettenmessung zu gewinnen und im Interesse unserer Aufgabe zu verwerthen. Es sind die Messungen der Seiten der in den Strassen der Stadt gelegten Polygonzüge, auf welche die Häuser durch Coordinaten bezogen wurden; Standlinien, von welchen jede zweimal gemessen wurde, also sogenannte Doppelmessungen.

\*) „Zeitschrift für Vermessungswesen“. 1. Band. 1872.

\*\*) „Zeitschrift für Vermessungswesen“. 1. Band. 1872.

Um das Gesetz des mit der Länge fortschreitenden Fehlers zu constatiren, stellte ich die Messungen nach Gruppen zusammen, und zwar von 0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100, 100—120, 120—140 Klaftern Länge, so dass also 7 Gruppen von Messungen verschiedener Länge entstanden. Es würde zu viel Raum beanspruchen, die 1690 Messungsdaten hier in extenso wiederzugeben, aber es dürfte von Interesse sein, die Differenzen der Doppelmessungen und die Anzahl ihres Auftretens kennen zu lernen. Die nachstehende Tabelle enthält diese Daten, wobei  $d$  die Differenz je zweier Messungen einer Linie bedeutet.

Gruppe	Länge der Linie in Klaftern	Zahl der Doppel-messungen $d$ in Hundertel-Klaftern	Anzahl des Auftretens	Gruppe	Länge der Linie in Klaftern	Zahl der Doppel-messungen $d$ in Hundertel-Klaftern	Anzahl des Auftretens
I	0—20	160	0 1 2 87 69 4	V	80—100	120	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 16 27 29 15 14 9 3 6 — 1
II	20—40	160	0 1 2 3 4 36 75 38 9 2	VI	100—120	55	0 1 2 3 4 5 6 7 8 5 14 15 3 5 6 4 2 1
III	40—60	160	0 1 2 3 4 5 31 51 43 22 9 4	VII	120—140	30	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 5 9 5 7 — 1 — 2
IV	60—80	160	0 1 2 3 4 5 30 44 39 25 10 12				

Wir haben nun zunächst die Aufgabe, den mittleren Fehler der Längenmessung in jeder einzelnen Gruppe zu bestimmen. Bezeichnen  $l'$   $l''$   $l'''$  . . .  $l^{(n)}$  die gemessenen Längen der Gruppe I,  $d'$   $d''$   $d'''$  . . .  $d^{(n)}$  die Differenzen je zweier Messungen derselben Linie,  $m'$   $m''$   $m'''$  . . .  $m^{(n)}$  die mittleren Fehler der einzelnen Messungen,  $n$  die Anzahl der Doppelmessungen, so hat man\*)

$$m' = \frac{d'}{\sqrt{2}}, m'' = \frac{d''}{\sqrt{2}}, m''' = \frac{d'''}{\sqrt{2}} \dots m^{(n)} = \frac{d^{(n)}}{\sqrt{2}}$$

\*) Es ist allgemein  $m = \sqrt{\frac{[v \cdot v]}{n-1}}$ ; für 2 Beobachtungen mit der Differenz  $d$  hat man:

$$v = \frac{d}{2}, v' = -\frac{d}{2}, n = 2, \text{ somit } m = \sqrt{\frac{d^2}{2}} = \frac{d}{\sqrt{2}}$$

Das Symbol  $[ ]$  bedeutet nach der Gauss'schen Bezeichnung eine Summe.

Bedeutet nun  $M$  den mittleren Fehler aller Messungen dieser Gruppe, so hat man im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate:

$$n M^2 = [m m] = \frac{d^2 + d'^2 + d''^2 + \dots + d^{(n)2}}{2}, \text{ daraus}$$

$$M^2 = \frac{[d d]}{2n} \text{ oder } M = \sqrt{\frac{[d d]}{2n}} \dots \dots \dots 1)$$

Rechnet man für jede Gruppe diesen Werth  $M$ , so erhält man die untenstehenden Resultate  $M_I M_{II} \dots M_{VII}$ . Dabei ist zu bemerken, dass  $M_I$  den mittleren Fehler verschiedener Längen zwischen 0 und 20 Klaftern, also einer mittleren Länge von  $\frac{[l]}{n} = \frac{[l]}{120}$ ,  $M_{II}$  den mittleren Fehler einer zwischen den Grenzen 20 und 40 Klaftern liegenden Mittellänge  $\frac{[l]}{n}$  bedeutet, wofür das  $\frac{[l]}{n}$  aus der 2. Gruppe zu rechnen ist, u. s. w.

Wir erhalten demnach:

Mittlere Länge $\frac{[l]}{n}$	Mittlerer Fehler	
15.32 Klafter	$M_I$	0.0051 Klafter
30.08 "	$M_{II}$	0.0103 "
48.14 "	$M_{III}$	0.0144 "
69.70 "	$M_{IV}$	0.0166 "
87.94 "	$M_V$	0.0224 "
109.66 "	$M_{VI}$	0.0241 "
129.33 "	$M_{VII}$	0.0261 "

Wir sehen aus diesem Ergebniss, dass die Hypothese II fallen muss, denn nach ihr müssten die Fehler den Längen proportional fortschreiten, es müsste z. B.  $M_{VII}$  mehr als 4  $M_{II}$  sein, was durchaus nicht der Fall ist.

Um nun die noch übrig bleibende Hypothese I zu prüfen, verfahren wir auf folgende Weise. Bezeichnet man mit  $\mu$  den mittleren Fehler der Längeneinheit, so ist nach der Methode der kleinsten Quadrate

$$m' = \mu \sqrt{l'}, m'' = \mu \sqrt{l''}, m''' = \mu \sqrt{l'''}, \dots m^{(n)} = \mu \sqrt{l^{(n)}} \text{ oder}$$

$$\frac{d'}{\sqrt{2}} = \mu \sqrt{l'}, \frac{d''}{\sqrt{2}} = \mu \sqrt{l''}, \frac{d'''}{\sqrt{2}} = \mu \sqrt{l'''}, \dots \frac{d^{(n)}}{\sqrt{2}} = \mu \sqrt{l^{(n)}}$$

Die Gleichungen quadriert und addirt, erhält man

$$[d d] = 2 \mu^2 [l]$$

oder

$$\mu^2 = \frac{[d d]}{2[l]} \dots \dots \dots 2)$$

Diese Gleichung gibt den mittleren Fehler der Längeneinheit, ausgedrückt durch die Differenzen  $d$  der Doppelmessungen.

Prof. Dienger \*) hat für  $\mu^2$  folgenden Werth gefunden:

$$\mu^2 = \frac{1}{2n} \left[ \frac{d d}{l} \right] \dots \dots \dots 3)$$

Diese beiden Gleichungen haben bereits ihre Geschichte. Nachdem Dienger schon 1858 die Gleichung 3 aufgestellt, hat Prof. Jordan auf einem anderen Wege \*\*) denselben

Ausdruck gefunden. Hierauf suchte G. Zachariae in Kopenhagen den Beweis zu führen \*), dass die Gleichung 3 unrichtig sei, indem er für Gleichung 2, die den Arbeiten der dänischen Gradmessung zu Grunde gelegt ist, einstand und bedauerte, dass der Fehler der Gleichung 3 sich in das berühmte Werk „Gradmessung in Ostpreussen“ eingeschlichen habe. Hierauf haben Prof. Helmert und Jordan dargethan \*), dass eigentlich beide Gleichungen richtig seien, dass aber die von ihnen protegirte Nr. 3 im Sinne der Ausgleichungsrechnung eine grössere Wahrscheinlichkeit für sich habe. Und in der That. Obwohl die oben gegebene Ableitung, welche vor allen anderen ihre ausserordentlich grosse Einfachheit für sich hat, unzweifelhaft im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate gehalten ist, so lässt dennoch ihre Schärfe etwas zu wünschen übrig. Denn indem wir  $m' = \mu \sqrt{l'}$ ,  $m'' = \mu \sqrt{l''}$ ,  $m''' = \mu \sqrt{l'''}$  . . . setzen, haben wir stillschweigend für  $\mu$  bereits einen Mittelwerth eingeführt, welcher, da die  $m = \frac{d}{\sqrt{2}}$  und die  $l$  aus

Beobachtungen gefunden, also mit der unvermeidlichen Unregelmässigkeit der Fehler behaftet sind, nicht alle Gleichungen erfüllen wird. Strenge genommen sollte man sagen:

$$m' = \mu' \sqrt{l'}, m'' = \mu'' \sqrt{l''}, m''' = \mu''' \sqrt{l'''} \dots m^{(n)} = \mu^{(n)} \sqrt{l^{(n)}}$$

wobei jedes einzelne  $\mu$  den der zugehörigen Beobachtung eigenthümlichen mittleren Fehler der Längeneinheit bezeichnet.

Setzen wir für  $m$  die Werthe  $\frac{d}{\sqrt{2}}$ , so erhält man

$$\frac{d'}{\sqrt{2}} = \mu' \sqrt{l'}, \frac{d''}{\sqrt{2}} = \mu'' \sqrt{l''} \dots \frac{d^{(n)}}{\sqrt{2}} = \mu^{(n)} \sqrt{l^{(n)}}$$

und quadriert

$$\frac{d'^2}{2 l'} = \mu'^2, \frac{d''^2}{2 l''} = \mu''^2 \dots \frac{d^{(n)2}}{2 l^{(n)}} = \mu^{(n)2}.$$

Bildet man die Quadratsumme, so hat man:

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{d d}{l} \right] = \mu'^2 + \mu''^2 + \mu'''^2 + \dots + \mu^{(n)2}$$

oder für alle diese etwas variirenden  $\mu$  ein Mittelwerth eingeführt:

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{d d}{l} \right] = n \mu^2,$$

woraus

$$\mu^2 = \frac{1}{2n} \left[ \frac{d d}{l} \right],$$

d. i. Gleichung 3 erhalten wird.

Trotzdem Gleichung 3 einer schärferen Ableitung ihre Existenz verdankt als Gleichung 2, bleiben wir dennoch bei der letzteren, und zwar mit dem die Skrupel des „Kettenmessers“ vollständig beschwichtigenden Trost, dass, wenn sie für die dänische Gradmessung gut genug war, sie auch für unseren vorliegenden, einer viel roheren Praktik angehörenden Fall genügen wird. Der Grund ihrer Annahme liegt in der ausserordentlichen Leichtigkeit ihrer Auflösung durch Zahlen. Während bei Gleichung 3 alle 845  $d^2$  einzeln durch die zugehörigen  $l$ , also durch 4- bis 5ziffe-

\*) Grunert's Archiv, pag. 225.

\*\*) Astronomische Nachrichten, Band 74, pag. 209.

\*) Astronomische Nachrichten, Band 80, pag. 67.

\*\*) Astronomische Nachrichten, Band 81, pag. 49.

rige Zahlen zu dividiren und dann zu addiren sind, werden beim Gebrauch der Gleichung 2 gleich die  $d^2$  addirt und durch die Summe von  $l$  dividirt. Hier haben wir sieben Divisionen auszuführen, dort 845; auf welche Seite der Praktiker greifen wird, dürfte Niemandem zweifelhaft bleiben, zumal ja selbst die Gegner der Gleichung 2 nicht behaupten können, dass sie „unrichtig“ sei.

Setzen wir in Gleichung 2 für  $\frac{[dd]}{2}$  den Werth aus Gleichung 1, so erhalten wir:

$$\mu^2 = \frac{n M^2}{[l]}$$

oder

$$M = \mu \sqrt{\frac{[l]}{n}} \dots \dots \dots 4)$$

Auch diese Gleichung ist ein Criterium für die Richtigkeit der Gleichung 2, aus der sie entstanden, denn da  $M$  den mittleren Fehler der Längenmessungen einer bestimmten Gruppe bedeutet,  $\frac{[l]}{n}$  aber die mittlere Länge aller darin vorkommenden Linien, so ist auch diese Gleichung vollkommen in Uebereinstimmung mit der zu Grunde gelegten Theorie.

Rechnet man nun mittelst Gleichung 2 aus jeder einzelnen Gruppe den Werth von  $\mu$ , so erhält man:

Aus Gruppe I	$\mu = 0.00132$
" " II	$= 0.00188$
" " III	$= 0.00208$
" " IV	$= 0.00199$
" " V	$= 0.00239$
" " VI	$= 0.00230$
" " VII	$= 0.00229$

Wenn nun die Hypothese I richtig ist, so sollen selbstverständlich alle Werthe für  $\mu$  einander gleich ausfallen. Vor Allem fällt die grosse Abweichung des ersten Werthes (der Gruppe I) auf, welche übrigens vollständig gerechtfertigt ist. Denn wenn man die bei der Kettenmessung Einfluss nehmenden Fehlerquellen im Auge hat, so muss man zugeben, dass von der Gruppe I die Hälfte der Linien, nämlich die unter 10 Klaftern an dem bei der Kettenmessung gewiss grössten Fehler nicht participirt, nämlich dem, welcher durch das Aneinanderreihen der Kettenzüge, beim Ansetzen der neuen Kettenlage an den durch einen Nagel bezeichneten Endpunct der vorigen entsteht. Die Linien unter 10 Klaftern werden daher stets verhältnissmässig genauer gemessen, als die, welche mehrere Kettenzüge lang sind. Ferners ist das Ablesen auf Hundertel-Klafter für Linien von nur 2, 3, 4 Klaftern Länge viel zu roh, man wird also bei so kurzen Linien stets, man mag sie messen, wie oft man will, eine Uebereinstimmung der beiden Decimalen von Klaftern, also den Fehler Null finden, was dazu beiträgt, die Messungen der Gruppe I genauer erscheinen zu lassen, als sie wirklich sind. Aus diesen Gründen ist also die Gruppe I, als der Natur der Messung nach nicht in Harmonie mit den übrigen, zunächst auszuschneiden.

Was die übrigen Werthe betrifft, so geben sie genügende Resultate. Mathematische Uebereinstimmung wird

Niemand verlangen, der das Wesen der Rechnungen mit Beobachtungswerthen kennt, und gerade das unregelmässige Schwanken der Werthe zeigt an, dass die Ungleichheit derselben von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern herrührt, nicht aber von der Unrichtigkeit der zu Grunde gelegten Hypothese, weil sonst ein successives Anwachsen der Abweichungen nach irgend einer Seite hin bemerkbar sein müsste, wie wir es später bei einer ihre Unhaltbarkeit nachzuweisenden nochmaligen Probe der Hypothese I finden werden.

Um aus den letzten sechs Werthen für  $\mu$  einen Mittelwerth zu rechnen, sollte man eigentlich Gewichte einführen. Da aber diese Werthe nicht direct beobachtet, sondern aus den Gleichungen  $\mu = \frac{[dd]}{2n}$  gerechnet wurden, so würde das zu sehr umständlichen Rechnungen führen, die mit dem praktischen Zwecke der Aufgabe wohl in keinem Verhältnisse stünden. Ausserdem würde, da für die letzten drei Gruppen zufällig weniger Beobachtungen zur Disposition stehen, durch die Gewichte der Schwerpunkt mehr auf die  $\mu$  der ersten Gruppen fallen und die Gefahr nahe sein, den Mittelwerth von  $\mu$  künstlich auf die Seite der ersteren Resultate zu drängen. Wir können anderseits mit voller Beruhigung uns der Gewichte begeben, da ja selbst die letzten Gruppen aus einer so stattlichen Zahl von Beobachtungen bestehen, dass die daraus gerechneten Werthe Anspruch auf grosse Sicherheit machen können. Wir nehmen daher aus den sechs Werthen einfach das arithmetische Mittel und erhalten dafür:

$$\mu = 0.00216 \pm 0.00026 \dots \dots \dots 5)$$

wo das mit  $\pm$  angehängte Glied die wahrscheinliche Unsicherheit von  $\mu$  bedeutet.

Die Gleichung 4 setzt uns in den Stand, die Uebereinstimmung dieses Mittelwerthes mit den Beobachtungen zu prüfen. Rechnet man nämlich aus dieser Gleichung durch Substitution des Mittelwerthes  $\mu$  für jede Gruppe den Werth  $M$ , so erhält man nachstehende Resultate:

Gruppe	$M$ aus den Beob. achtungen	$M = 0.00216 \sqrt{\frac{[l]}{n}}$ gerechnet	Differenz
II	0.01039	0.01189	- 0.00150
III	0.0144	0.0150	- 0.0006
IV	0.0166	0.0180	- 0.0014
V	0.0224	0.0209	+ 0.0015
VI	0.0211	0.0225	+ 0.0016
VII	0.0261	0.0245	+ 0.0016

Man sieht aus Gleichung 5, dass die Unsicherheit von  $\mu$  in der Berechnung von  $M$  höchstens 12% betragen kann, was die erhaltenen Resultate bestätigen, da nur in der Gruppe II eine Differenz von 12% auftritt, die der übrigen Gruppen aber weniger betragen. Diese Differenzen, d. h. die Unregelmässigkeiten, welche beim Anpassen der Hypothese I an die Beobachtungen noch zurückbleiben, sind überhaupt sehr gering; die (im Verhältniss zur Länge) grösste derselben, nämlich die der Gruppe II, gibt ein Fehlerverhältniss von  $\frac{1}{20000}$ . Man muss daher sagen, dass

diese Differenzen nur auf Rechnung der Beobachtungsfehler zu setzen sind, und dass also die Hypothese I sich praktisch vollkommen genau an die Beobachtungen anschliesst, oder mit anderen Worten, dass durch diese Untersuchung die Hypothese vollkommen bewährt befunden wurde.

Nehmen wir nun nochmals die Hypothese II vor, um zu sehen, wie weit es bei derselben gelingt, einen Mittelwerth  $\mu$  mit den durch Beobachtung gefundenen Daten in Einklang zu bringen. Nach dieser Hypothese ist  $M = \mu L$ , wo  $\mu$  wieder den mittleren Fehler der Längeneinheit,  $L$  die gemessene Länge bedeutet. Für unsere Gruppen haben wir also die Gleichung:

$$M = \mu \frac{[L]}{n},$$

was zu folgenden Resultaten führt:

Gruppe	$M$	$\frac{[L]}{n}$	$\mu = \frac{[L]}{n}$	$M$ mit dem Mittelwerth für $\mu$ gerechnet	Differenz
	Aus den Beobachtungen				
I	0.0051°	15.32°	0.00033°	0.0041°	+ 0.0010°
II	0.0103	30.08	0.00034	0.0080	+ 0.0023
III	0.0144	48.14	0.00029	0.0128	+ 0.0016
IV	0.0166	69.70	0.00024	0.0185	— 0.0019
V	0.0224	87.94	0.00025	0.0234	— 0.0010
VI	0.0241	109.66	0.00022	0.0291	— 0.0050
VII	0.0261	129.33	0.00020	0.0344	— 0.0083

Die ersten beiden Columnen sind für sich klar. Die dritte enthält die aus den Werthen der beiden ersten gerechneten  $\mu$ . Aus diesen wurde ein Mittel genommen, und = 0.00027 gefunden. Die vierte Columnne enthält die mit diesem Mittelwerth von  $\mu$  gerechneten  $M$ , die fünfte endlich wieder die Differenzen. Die Gruppe I brauchte hier nicht ausgeschlossen zu werden, da sie ganz gut in den allgemeinen Rahmen passt.

Die Zusammenstellung zeigt, dass diese Hypothese für kurze Linien leidlich genügt, dass sie aber für längere Linien, dort also, wo durch die grosse Zahl der das Längenresultat gebenden Aneinanderreihungen der Kette das Gesetz der Beobachtungsfehler sich entschiedener aussprechen kann, vollkommen unbrauchbar wird, wie aus den grossen Schlussdifferenzen hervorgeht.

Nachdem die bei dieser Untersuchung benützten Längenmessungen im Klaftermaass ausgeführt wurden, erübrigt uns noch, die Schussresultate für Metermaass umzurechnen. Wir kehren also wieder zur bewährten Hypothese I zurück, wobei wir haben

$$M = \mu \sqrt{l} \text{ für Klaftermaass.}$$

Ist  $r = 1.896484$  der Reductionsfactor, um Klafter in Meter zu verwandeln, und  $\mu'$  der mittlere Fehler der Längeneinheit bei Metermaass, so kann man diese Gleichung auch so schreiben:

$$Mr = \mu' \sqrt{l} r;$$

daraus folgt:

$$\frac{M}{\sqrt{l}} \cdot \sqrt{r} = \mu' \text{ oder statt } \frac{M}{\sqrt{l}}, \mu \text{ gesetzt,}$$

$$\mu' = \sqrt{r} \cdot \mu = 0.00297 \dots \dots 6)$$

so dass wir für die Folge die Gleichung haben:

$$M \text{ in Metern} = \mu' \sqrt{l \text{ in Metern}}$$

Mit dem Werth  $\mu'$  haben wir nun nachstehende, für den praktischen Gebrauch dienende Schlusstabelle berechnet:

Gemessene Länge	Mittlerer Fehler einer Kettenmessung	Fehler-Verhältniss
60 <sup>m</sup>	0.023 <sup>m</sup>	$\frac{1}{2600}$
100	0.030	$\frac{1}{3400}$
140	0.035	$\frac{1}{4000}$
180	0.040	$\frac{1}{4500}$
220	0.044	$\frac{1}{5000}$
260	0.048	$\frac{1}{5400}$

Die gegen Jordan's Tabelle verhältnissmässig günstigen Resultate mögen daher rühren, weil unsere Kettenmessungen in den Strassen der Stadt und Vorstädte, also fast ausschliesslich auf Steinpflaster oder festem Strassenkörper ausgeführt wurden, während die der Jordan'schen Tabelle zu Grunde gelegten Daten Messungen am Felde entnommen sind.

## Ueber den Ausfluss der permanenten Gase.

Von

**Emil Herrmann,**

Professor der Mechanik an der königl. ungar. Berg- und Forstakademie in Schemnitz.

Obwohl sich in neuerer Zeit hervorragende Fachmänner mit diesem Gegenstande befasst haben, kann das Problem doch nicht als endgiltig gelöst betrachtet werden; ja Fliegner („Civil-Ingenieur“, XX. Band, 1. Heft 1874) sieht sich durch seine Experimente sogar zu einer neuen Hypothese veranlasst, welche er dahin ausspricht, dass die grösste Geschwindigkeit, welche ein Gasstrom erreichen könne, der  $\sqrt{3}$ . Theil der Molecular-Geschwindigkeit sei.

Die Vorsicht gebietet indessen, so lange mit der Aufstellung neuer Hypothesen zu zögern, als noch die Möglichkeit vorliegt, durch genaue Rechnungen Theorie und Experiment auf natürlichem Wege mit einander in Einklang zu bringen. Diese Ansicht, welcher wohl kein Naturforscher die Zustimmung versagen wird, bewog mich, Dr. Zeuner's und Fliegner's Versuche, welche in der oben erwähnten Zeitschrift enthalten sind, einer Wiederberechnung zu unterwerfen und der Erfolg war ein so günstiger, dass ich keinen Anstand nehme, meine Arbeit zu veröffentlichen.

Bei der Entwicklung der Hauptformel setze ich einen derartigen Beharrungszustand des Ausflusses voraus, dass in gleichen Zeitabschnitten durch jeden Querschnitt des Ausflusscanales gleiche Gewichte fliessen, ferner, dass sowohl im Gefässe, aus welchem der Ausfluss erfolgt, als auch in jenem, in welches sich das Gas ergiesst, der Druck constant erhalten wird. Ersteres will ich das innere, letzteres das äussere Gefäss nennen. Hierauf beziehen sich auch die Ausdrücke innere und äussere Spannung oder Temperatur.

Es sei nun:

$U_0$ ,  $p_0$ ,  $v_0$  und  $w_0$  die Energie, Spannung, spezifische Volumen und Geschwindigkeit des Gases in irgend einem Querschnitte des Canales, dagegen in einem zweiten Querschnitte, gegen welchen das Gas fliesst, dessen Energie  $U$ , dessen Spannung  $p$ , dessen spezifisches Volumen  $v$  und dessen Geschwindigkeit  $w$ , dann ist die der Gewichtseinheit des Gases auf dem Wege zwischen den zwei Querschnitten mitzutheilende Wärmemenge:

$$Q = U - U_0 + A \int_{v_0}^v p dv.$$

Durch partielle Integration kommt:

$$Q = U - U_0 + A p v - A p_0 v_0 - A \int_{p_0}^p v dp.$$

In der „vollständigen Theorie des Wasserdampfes“ (diese Zeitschrift, 1875, Seite 188) habe ich gezeigt, dass das Integrale:

$$- \int_{p_0}^p v dp = \frac{w^2 - w_0^2}{2g}$$

die Aenderung der lebendigen Kraft der Gewichtseinheit des Körpers ist. Demnach hat man:

$$Q = \left( U + A p v + A \frac{w^2}{2g} \right) - \left( U_0 + A p_0 v_0 + A \frac{w_0^2}{2g} \right).$$

Bezeichnet man die spezifische Wärme bei constantem Volumen mit  $c_v$ , jene bei constantem Drucke mit  $c_p$  und mit  $T_0$ , respective  $T$  die natürlichen Temperaturen des Gases, so ist bekanntlich:

$$U - U_0 = c_v (T - T_0).$$

Die Zustandsgleichung des Gases aber ist:

$$p v = R T$$

worin:

$$R = \frac{c_p - c_v}{A}.$$

Substituirt man diese Werthe in den Ausdruck für  $Q$ , so kommt:

$$\begin{aligned} Q &= c_v (T - T_0) + (c_p - c_v) (T - T_0) + A \frac{w^2 - w_0^2}{2g} = \\ &= c_p (T - T_0) + A \frac{w^2 - w_0^2}{2g}, \end{aligned}$$

woraus:

$$w^2 - w_0^2 = \frac{2g}{A} [Q - c_p (T - T_0)].$$

Sind die Flächen der zwei Querschnitte  $k_0$  und  $k$ , so muss wegen dem Beharrungszustande das per Secunde durch jeden Querschnitt strömende Gasgewicht sein:

$$G = \frac{k w}{v} = \frac{k_0 w_0}{v_0},$$

woraus:

$$w_0 = \frac{k}{k_0} \cdot \frac{v_0}{v},$$

somit:

$$w^2 \left[ 1 - \left( \frac{k}{k_0} \cdot \frac{v_0}{v} \right)^2 \right] = \frac{2g}{A} [Q - c_p (T - T_0)]$$

oder

$$1) \dots \dots w = \sqrt{\frac{2g}{A} \cdot \frac{Q - c_p (T - T_0)}{1 - \left( \frac{k}{k_0} \cdot \frac{v_0}{v} \right)^2}},$$

wogegen das per Secunde austliessende Luftgewicht:

$$2) \dots \dots G = \frac{k}{v} \sqrt{\frac{2g}{A} \cdot \frac{Q - c_p (T - T_0)}{1 - \left( \frac{k}{k_0} \cdot \frac{v_0}{v} \right)^2}} \text{ ist.}$$

Nachdem das spezifische Volumen nicht direct gemessen werden kann, wogegen die Spannkraft und Temperatur durch Manometer und Thermometer leicht ermittelt wird, ist es zweckmässig, das Volumen zu eliminiren. Aus der Zustandsgleichung folgt:

$$v = \frac{R T}{p}, \text{ also } v_0 = \frac{R T_0}{p_0}$$

und

$$2') \dots \dots G = \frac{k p}{R T} \sqrt{\frac{2g}{A} \cdot \frac{Q - c_p (T - T_0)}{1 - \left( \frac{k}{k_0} \cdot \frac{T_0 p}{T p_0} \right)^2}}.$$

Dies ist die Hauptgleichung für den Ausfluss; bei ihrer Anwendung hat man nur die Vorsicht zu gebrauchen, dass man die Spannung und Temperatur nicht an solchen Stellen des Canales misst, welche unmittelbar vor oder nach einer plötzlichen Querschnittsänderung sich befinden, weil an solchen Stellen Trichter und Wirbel im Gasstrahle sich bilden, weshalb dann die gemessenen Grössen keinen richtigen Durchschnittswerth für die an solchen Stellen herrschende Temperatur und Spannung geben.

### Der adiabatische Ausfluss bei constantem Drucke.

Will man obige Gleichung mit Hilfe der vorhandenen Experimente verificiren, so ist es unbedingt nothwendig, den adiabatischen Ausfluss zu behandeln. Dabei setze ich noch voraus, dass der Querschnitt  $k$  so klein ist gegen  $k_0$ , dass der Quotient  $\frac{k}{k_0}$  für sich selbst gegen die Einheit verschwinde.

Die adiabatischen Zustandsveränderungen der permanenten Gase sind durch die Gleichungen:

$$Q = 0; \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{v_0}{v} \text{ und } \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T}{T_0}$$

charakterisirt.

Es folgt hieraus, dass

$$\frac{T_0 p}{T p_0} = \frac{p}{p_0} \cdot \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

eine Grösse ist, welche selbst kleiner als die Einheit, weshalb  $\left( \frac{k}{k_0} \cdot \frac{T_0 p}{T p_0} \right)^2$  mit noch mehr Recht vernachlässigt werden kann als  $\frac{k}{k_0}$  allein; dann ist:

$$3) \dots \dots G = \frac{k p}{R T} \sqrt{\frac{2g}{A} c_p (T_0 - T)}$$

oder auch:

$$4) \dots G = \frac{k p_0}{R} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{2g c_p}{A T_0} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}.$$

Aus der letzten Gleichung ist ersichtlich, dass das austliessende Gewicht bei abnehmender Aussenspannung nicht fortwährend zunimmt, sondern bei einer gewissen Grenze der Aussenspannung von dieser unabhängig wird;



zugleich muss sich im kleinsten Querschnitte des Ausflusscanales eine Minimal-Spannung einstellen, welche, von der Aussenspannung unabhängig, die Ausflussmenge bestimmt. Um diese Minimal-Spannung zu ermitteln, hat man  $G$  nach  $p$  zu differenzieren und den Quotient Null zu setzen.

$$\frac{dG}{dp} = \frac{k p_0}{R} \sqrt{\frac{2g c_p}{A T_0}} \left\{ \frac{1}{x} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{x}-1} \frac{1}{p_0} \sqrt{1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}}} - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{x}} \frac{1}{2} \frac{x-1}{x} \frac{\left( \frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{1}{x}} \frac{1}{p_0}}{\sqrt{1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}}}} \right\} = 0;$$

durch Multiplication mit

$$x p_0 \sqrt{1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}}}$$

kommt:

$$\left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1-x}{x}} - 1 - \frac{x-1}{2} = 0,$$

somit:

$$\left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}} = \frac{2}{x+1} \text{ oder: } p = p_0 \left( \frac{2}{x+1} \right)^{\frac{x}{x-1}}$$

und

$$G_{\max} = \frac{k p_0}{R} \sqrt{\frac{2g c_p}{A T_0}} \left( \frac{2}{x+1} \right)^{\frac{1}{x-1}} \sqrt{\frac{x-1}{x+1}}.$$

Schreibt man noch, wie bekannt,  $c_p = x c_v$ , also

$$c_p - c_v = (x-1) c_v = A R, \text{ so ist } c_p = \frac{x}{x-1} A R \text{ und}$$

$$G_{\max} = \frac{k p_0}{\sqrt{R T_0}} \left( \frac{2}{1+x} \right)^{\frac{1}{x-1}} \sqrt{\frac{2g x}{x+1}}.$$

Mit Berücksichtigung von  $x = 1.41$  ergibt sich:

$$5) \dots \dots \dots p_{\min} = 0.5266 p_0.$$

und

$$6) \dots \dots \dots G_{\max} = 2.14945 \frac{p_0 k_{\min}}{\sqrt{R T_0}} \\ \log 2.14945 = 0.33233.$$

Bis hierher enthält die Ableitung keine Hypothese; ob sie von Saint-Venant und Wantzl in dieser Art gegeben wurde, ist mir nicht bekannt, bekannt ist mir jedoch, dass Max Herrmann sie in dieser Art, und zwar selbständig entwickelte.

Herrn Professor Gustav Schmidt's Güte verdanke ich die Kenntniss dessen, dass die Maximal-Geschwindigkeit

$$w_{\max} = \sqrt{2g R T_0 \frac{x}{x+1}}$$

zugleich die Geschwindigkeit ist, mit welcher der Schall sich im Gase bei der Temperatur des Strahles fortpflanzt, dass somit die Hypothese Holtzmann's sich als wahr bewährt.

Demnach sind beim Ausflusse aus einem gegen die Ausflussmündung sich fortwährend, jedoch langsam, d. h. continuirlich verengenden oder kurzen cylindrischen, gegen das innere Gefäss abgerundeten Rohre zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Innenspannung  $p_0 \geq \frac{p_1}{0.5266}$ , wo  $p_1$  die Aussenspannung bezeichnet,

2. die Innenspannung  $p_0 < \frac{p_1}{0.5266}$ .

Im ersten Falle ist nach Formel 6) zu rechnen. Dies fordert die Theorie unbedingt. Im zweiten Falle ist nach der Formel 4) zu rechnen, wobei es wahrscheinlich, dass die Spannung  $p$  in der Mündung der Aussenspannung  $p_1$  gleich ist (Hypothese).

### Adiabatischer Ausfluss bei constantem Volumen des inneren Gefässes.

Erster Fall. Die Innenspannung

$$p_0 \geq \frac{p_1}{0.5266} \left( 0.5266 \doteq \frac{10}{19} \right).$$

Die Versuche, welche Dr. Zeuner und Fliegner über den Ausfluss der Gase machten, stehen dem adiabatischen Ausflusse bei constantem Volumen des inneren Gefässes und bei constanter Spannung im äusseren Gefässe am nächsten, weil die Ausflusszeit und die Ausflussröhre so kurz gewählt wurden, dass weder die im Gefässe eingeschlossene Luft, noch der Strahl eine nennenswerthe Wärmemenge aufnehmen konnte.

Bei der mathematischen Behandlung des ersten Falles hat man zu berücksichtigen: 1. dass das Product des im inneren Gefässe vorhandenen Luftgewichtes in das spezifische Volumen constant und dem Gefässvolumen gleich; 2. dass die Innenspannung und Temperatur veränderlich und dem Gesetze der adiabatischen Expansion unterworfen ist.

Bezeichnet nun  $G_0$  das ursprüngliche Luftgewicht,  $p_0$  dessen Spannung,  $T_0$  dessen Temperatur und  $v_0$  dessen spezifisches Volumen, dagegen  $G'$ ,  $p$ ,  $T$  und  $v$  der Reihe nach dieselben Grössen in irgend einem Momente des Ausflusses, z. B.  $\tau$  Secunden nach der Eröffnung des Hahnes, so ist, wenn  $V_0$  das Volumen des inneren Gefässes:

$$G' v = G_0 v_0 = V_0, \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{x}} = \frac{v_0}{v} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{x-1}}.$$

Das während  $\tau$  Secunden ausgeflossene Luftgewicht beträgt:

$$G = G_0 - G' = G_0 \left( 1 - \frac{v_0}{v} \right),$$

somit

$$\frac{v_0}{v} = \left( 1 - \frac{G}{G_0} \right),$$

weshalb die Spannung

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{G}{G_0} \right)^x$$

und die Temperatur

$$T = T_0 \left( 1 - \frac{G}{G_0} \right)^{\frac{x-1}{x}}$$

Die Gleichung 6) übergeht in:

$$dG = \frac{\alpha k p}{\sqrt{R T}} d\tau,$$

weil  $p$  und  $T$  nur unendlich kurze Zeit constant sind.

Mit Rücksicht auf obige Werthe von  $p$  und  $T$  ist:

$$dG = \frac{\alpha k p_0}{\sqrt{R T_0}} \left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{\frac{x-1}{2}} d\tau,$$

das ist:

$$dG = \frac{\alpha k p_0}{\sqrt{R T_0}} \left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{\frac{x+1}{2}} d\tau.$$

Behufs Integration hat man zu schreiben:

$$\frac{dG}{G_0} \left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{-\frac{x+1}{2}} = \frac{\alpha k p_0}{\sqrt{R T_0} G_0} d\tau,$$

$$-\int_0^G \frac{\left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{1-\frac{x+1}{2}}}{\left(\frac{1-x}{2}\right)} = \frac{\alpha k p_0}{G_0 \sqrt{R T_0}} \tau,$$

$$-\frac{2}{x-1} \left\{1 - \left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{\frac{1-x}{2}}\right\} = \frac{\alpha k p_0}{G_0 \sqrt{R T_0}} \tau,$$

das heisst:

$$\left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{\frac{x-1}{2}} = \frac{1}{1 + \frac{x-1}{2} \frac{\alpha k p_0}{G_0 \sqrt{R T_0}} \tau}.$$

Berücksichtigt man, dass

$$G_0 \frac{R T_0}{p_0} G_0 v_0 = V_0,$$

so bestimmt sich:

$$7) \quad G = G_0 \left\{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{x-1}{2} \frac{\alpha k \sqrt{R T_0}}{V_0} \tau\right)^{\frac{2}{x-1}}}\right\} = \beta G_0.$$

Das ausgeflossene Luftgewicht kann aber nach dem Experimente folgend eruiert werden: Nach Schluss des Hahnes steigt die Temperatur der im Ausflussgefäss befindlichen Luft so lange, als das Manometer steigt, zeigt dieses

stationär die Spannung  $p'$ , so ist die Temperatur im Ausflussgefässe derjenigen der umgebenden Atmosphäre gleich geworden, also  $T_0$  so, wie zu Anfang des Versuches. Die im Ausflussgefässe zu Anfang und Ende des Ausflusses enthaltenen Luftgewichte verhalten sich daher wie die bezüglichen Spannungen, also

$$8) \quad \dots \frac{G'}{G_0} = \frac{p'}{p_0} \text{ und } G = G_0 \frac{p_0 - p'}{p_0}.$$

Dividirt man die wirklich ausgeflossene Luftmenge 8) durch die theoretische 7), so ergibt sich der Ausflusscoefficient  $\mu$ , welcher der Einheit gleich sein muss, im Falle die Theorie richtig ist. Man findet:

$$9) \quad \mu = \frac{p_0 - p'}{p_0 \left\{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{x-1}{2} \frac{\alpha k \sqrt{R T_0}}{V_0} \tau\right)^{\frac{2}{x-1}}}\right\}} = \frac{p_0 - p'}{p_0 \beta}.$$

Das eingangs citirte Heft des Civil-Ingenieur enthält unter Tabelle V Versuche Dr. Zeuner's. Zur Bestimmung von  $\beta$  dienen die Grössen: Durchmesser der Ausflussmündung:

$$d = 4.094^{\text{mm}}, T_0 = 273 + 17.3 = 290.3^{\circ}\text{C}, V_0 = 0.81088^{\text{km}^3}.$$

Ausserdem findet man die Constante  $R$  unter Zugrundelegung des von Regnault bei  $760^{\text{mm}}$  Quecksilbersäule und  $0^{\circ}$  Temperatur bestimmten specifischen Gewichtes der trockenen Luft:  $R = 29.269$ . Ferner ist bekannt:

$$x = 1.41; \alpha = 2.14945.$$

Hieraus ergibt sich für  $\beta$  der Werth:

$$\beta = 1 - \frac{1}{\left(1 + 0.000659377 \tau\right)^{\frac{2}{0.41}}};$$

demnach für

$$\tau = 10, \beta = 0.031562; \text{ für } \tau = 10.1; \beta = 0.031860$$

und für

$$\tau = 10.2, \beta = 0.032160.$$

Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$
1	10.0	2991.3	96.0	1.017	8	10.2	2383.1	75.7	0.988	15	10.0	1902.1	60.5	1.009
2	10.2	2895.3	95.0	1.020	9	10.2	2307.4	73.4	0.989	16	10.2	1841.6	58.6	0.990
3	10.0	2800.3	88.9	1.005	10	10.0	2234.0	71.8	1.018	17	10.0	1783.0	55.3	0.984
4	10.2	2711.4	86.9	0.996	11	10.0	2162.2	68.0	0.996	18	10.0	1727.7	54.5	0.999
5	10.1	2624.5	82.9	0.991	12	10.0	2094.2	64.7	0.979	19	10.0	1673.2	52.7	0.998
6	10.0	2541.6	80.9	1.008	13	10.0	2029.5	65.6	1.024	20	10.0	1620.5	51.1	0.999
7	10.0	2460.7	77.6	0.999	14	10.0	1963.9	61.8	0.999	22	10.0	1521.0	47.7	0.994

Den in der Tabelle V aufgeführten 21. Versuch habe ich weggelassen, weil  $\tau = 9.8$ , also  $\beta$  besonders zu bestimmen wäre.

Summirt man die aufgeführten 21 Versuche, so erhält man  $21\mu = 21.002$ , das heisst  $\mu = 1$  wie es sein soll.

Die Theorie steht somit im vollkommenen Einklange mit den Ergebnissen der Versuche und eine neue Hypothese ist überflüssig und ungerechtfertigt.

Es beweisen obige Rechnungen folgende Sätze:

1. Bei einer kurzen cylindrischen Röhre, welche gegen das Ausflussgefäss abgerundet ist, fliesst im 1. Falle ( $p_0 = 19$  bis  $p_1$ ) die theoretisch bestimmte Menge des Gases aus.

2. Die Effectiv-Spannung des Gases in der Mündungsebene ist der berechneten Minimal-Spannung gleich.

3. Der Widerstand einer kurzen Röhre ist von Null so wenig verschieden, dass derselbe selbst bei den genauesten Rechnungen nicht berücksichtigt zu werden braucht.

Es lässt sich freilich noch immer das einwenden, dass vielleicht die Mündung zufällig etwas zu klein bestimmt

wurde, so dass auch die theoretischen Ausflussmengen zu klein berechnet sind. Ich glaube aber, der Name Zeuner's genügt, dies zu widerlegen; trotzdem nahm ich mir die Mühe, weitere Beobachtungen zu berechnen.

Tabelle VI des erwähnten Heftes enthält die Daten:  $d = 7.020^{\text{mm}}$ ,  $T_0 = 288.1^\circ \text{C}$ . und liefern dieselben die Werthe:

für  $\tau = 9.9$ ,  $\beta = 0.08727$ ; für  $\tau = 10$ ,  $\beta = 0.089095$ .

Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$
1	10.0	2977.1	265.6	1.001	5	10.0	2054.8	179.5	0.980
2	10.0	2711.5	241.6	1.000	6	9.9	1875.3	165.9	1.001
3	10.0	2469.9	218.2	1.038	7	10.0	1709.4	149.3	0.980
4	10.0	2251.7	196.9	0.981	8	9.9	1560.1	136.7	1.004

Die Summe von  $\mu$  gibt  $8\mu = 7.985$ , daher  $\mu = 0.998$ .

Schliesslich rechnete ich noch die in Tabelle VIII enthaltenen Versuche Fliegner's. Für diese ist

$$d = 7.314^{\text{mm}}, T_0 = 287.6$$

und fand ich:

$\mu = 0.992$ ;  $1.001$ ;  $0.996$ , somit die Summe  $3\mu = 2.989$ ; das heisst im Durchschnitt  $\mu = 0.996$ .

Das Mittel sämtlicher Werthe liefert:  $32\mu = 31.976$ , somit  $\mu = 0.99925$ .

Ich glaube deshalb mit allem Rechte  $\mu = 1$  setzen zu können.

Wäre der von Fliegner beobachtete Werth

$$p_1 = 0.5767 p_0$$

der Minimal-Druck, so müsste nach Gleichung 4) sein:

$$G_{\text{max}} = 2.1377 \frac{p_0 k_{\text{min}}}{\sqrt{R T_0}},$$

wonach der Durchschnittswert von  $\mu$  nur  $\frac{2.1377}{2.14945} = 0.99453$

sein sollte. Thatsächlich sinkt nicht einmal der ungünstigste Durchschnittswert von  $\mu = 0.996$  bis zu der obigen Grenze herab.

Hiemit ist aber die Fliegner'sche Hypothese durch die Versuche widerlegt und folgt zugleich, dass die von Fliegner angewandte Methode zur Bestimmung von  $p_1$  eine solche unvermeidliche Fehlerquelle enthält, welche auf zu grosse Werthe der Spannung führt.

Meine Berechnungen enthalten aber auch die Widerlegung von Zeuner's Theorie des Widerstandes und dessen Widerstands-Exponenten respective Ausfluss-Exponenten.

Zweiter Fall. Die Innenspannung ist kleiner als das 1.9fache der Aussenspannung ( $p_0 < \frac{p_1}{0.5266}$ ).

Die Behandlung des zweiten Falles bietet ebenfalls keine Schwierigkeit, obwohl die Endgleichung weniger einfach ist, als die auf den ersten Fall bezügliche.

$$T_0 (1 - y)^{x-1} - T_1 = T_0 - T_1 - (x-1) T_0 y + \frac{(x-1)(x-2)}{1 \cdot 2} T_0 y^2 - \frac{(x-1)(x-2)(x-3)}{1 \cdot 2 \cdot 3} T_0 y^3 + \dots$$

Hebt man  $(T_0 - T_1)$  als Factor heraus, so kommt:

$$T_0 (1 - y)^{x-1} - T_1 = (T_0 - T_1) \left[ 1 - \frac{(x-1) T_0}{T_0 - T_1} y - \frac{(x-1) T_0}{T_0 - T_1} \frac{2-x}{2} y^2 - \frac{(x-1) T_0}{T_0 - T_1} \frac{2-x}{2} \frac{3-x}{3} y^3 - \dots \right]$$

Wollen wir die Richtigkeit der Annahme prüfen, dass die Spannung in der Mündungsebene der Aussenspannung gleich ist, so müssen wir  $p_1$  als constant betrachten; die Innenspannung ist selbstverständlich während der Dauer des Ausflusses veränderlich.

Die Gleichung 3) gestaltet sich nun folgend:

$$G = \mu \frac{k p_1}{R T_1} \sqrt{\frac{2 g c_p}{A}} (T - T_1),$$

wenn  $\mu$  den Ausflusscoefficienten bedeutet. Ist die Hypothese richtig, so muss  $\mu = 1$  sich ergeben.

Bezeichnet man die Grössen, welche sich auf die ursprünglich im Gefässe vorhandene Luft beziehen, mit dem Zeiger 0, so hat man zur Berechnung von  $T_1$  die Gleichungen:

$$\frac{T_1}{T} = \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{x-1}{x}} \text{ und } \frac{T}{T_0} = \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}},$$

also:

$$T_1 = T_0 \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}}$$

Die Temperatur des Strahles ist somit von der Temperatur im Ausflussgefässe unabhängig und constant.

Nennt man  $G$  das in der Zeit  $\tau$  ausgeflossene Luftgewicht, so ist wie im ersten Falle die Temperatur im Ausflussgefässe:

$$T = T_0 \left[ 1 - \frac{G_0}{G} \right]^{x-1}$$

Das in der Zeit  $d\tau$  ausfliessende Luftgewicht drückt sich daher aus:

$$dG = d\tau \cdot \mu \frac{k p_1}{R T_1} \sqrt{\frac{2 g c_p}{A}} \left[ T_0 \left( 1 - \frac{G}{G_0} \right)^{x-1} - T_1 \right],$$

woraus:

$$\mu \frac{k p_1}{R T_1} \sqrt{\frac{2 g c_p}{A}} \cdot d\tau = \frac{dG}{\sqrt{T_0 \left( 1 - \frac{G}{G_0} \right)^{x-1} - T_1}}$$

folgt.

Die Integration liefert:

$$\mu \frac{k p_1}{R T_1} \sqrt{\frac{2 g c_p}{A}} \cdot \tau = G_0 \int_0^G \frac{\frac{dG}{G_0}}{\sqrt{T_0 \left( 1 - \frac{G}{G_0} \right)^{x-1} - T_1}}$$

Die ange deutete Integration lässt sich nur durch Entwicklung in eine unendliche Reihe erreichen.

Zu diesem Ende bezeichne  $y = \frac{G}{G_0}$  und ich entwickle das Binom  $(1 - y)^{x-1}$  in eine unendliche Reihe; hiedurch erhalte ich:

Den letzten Ausdruck hat man nun noch auf die  $-\frac{1}{2}$  Potenz zu erheben; die Entwicklung in eine Reihe und die darauf folgende Integration zwischen den Grenzen 0 und  $y$  liefert, wenn  $\frac{(x-1) T_0}{4(T_0 - T_1)} = \alpha$  gesetzt wird:

$$\mu \frac{k p_1}{R T_1} \sqrt{\frac{2 g c_p}{A}} \cdot \tau = \frac{G_0 y}{\sqrt{T_0 - T_1}} \left\{ 1 + \alpha y + \left( 2\alpha^2 + \frac{2-x}{3} \alpha \right) y^2 + \left( 5\alpha^3 + \frac{3(2-x)}{2} \alpha^2 + \frac{2-x}{4} \frac{3-x}{3} \alpha \right) y^3 + \right. \\ \left. + \left[ 14\alpha^4 + 6(2-x)\alpha^3 + 0.6(2-x) \left( \frac{2-x}{2} + 2 \frac{3-x}{3} \right) \alpha^2 + \frac{2-x}{5} \frac{3-x}{3} \frac{4-x}{4} \alpha \right] y^4 + \dots \right\}$$

Weil  $\frac{p_1}{R T_1} = \frac{p_0}{R T_0} \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{x}}$ ,  $\frac{G R T_0}{p_0} = V_0$  und  $C_p = \frac{x}{x-1} A R$ , so ist allgemein:

$$10) \cdot \mu = \frac{V_0}{\tau k \sqrt{T_0 - T_1}} \sqrt{\frac{x-1}{2 g x R}} \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{x}} y \left\{ 1 + \alpha y + (2\alpha^2 + 0.196\alpha) y^2 + (5\alpha^3 + 0.885\alpha^2 + 0.078175\alpha) y^3 + \right. \\ \left. + (14\alpha^4 + 3.54\alpha^3 + 0.4796\alpha^2 + 0.04049\alpha) y^4 + \dots \right\}$$

Ich habe nur diejenigen Versuche berechnet, welche in dem schon mehrfach erwähnten Hefte des „Civil-Ingenieur“ als Fortsetzung der Tabelle V aufgeführt erscheinen, muss jedoch erwähnen, dass ich die Versuche Nr. 1—3 nicht aufnehmen konnte, weil sich dieselben auf den schon erledigten ersten Fall beziehen.

Die speciellen Daten sind:

$$V_0 = 0.81088, k = 4.094 \frac{\pi}{4}, R = 29,269,$$

$$g = 9.806, x = 1.41, p_1 = 720.6,$$

$$T_0 = 286.6, T_1 = 286.6 \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{x-1}{x}}, y = \frac{p_0 - p'}{p_0}$$

und

$$\alpha = \frac{0.41 T_0}{4(T_0 - T_1)}$$

Man erhält nun folgende Werthe von  $\mu$ :

Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$
3	10.0	1334.7	41.8	1.000	9	10.0	1107.5	32.6	0.999	15	10.0	935.2	22.6	0.913
4	10.0	1292.9	39.7	0.983	10	10.0	1074.9	31.2	0.980	16	10.0	912.6	22.2	0.985
5	10.0	1253.2	38.6	0.990	11	10.0	1043.7	28.4	0.933	17	10.0	890.4	20.6	0.965
6	10.0	1214.6	36.7	0.977	12	10.0	1015.3	27.6	0.950	18	10.0	869.8	19.6	0.960
7	10.4	1177.9	36.5	0.998	13	10.0	987.7	26.4	0.955	19	10.0	850.2	18.0	0.946
8	9.8	1141.4	34.9	0.997	14	10.0	961.3	26.1	0.997					

Abgesehen von einigen Unregelmässigkeiten, welche durch kleine Fehler beim Versuche bedingt sind, lässt sich die Abnahme von  $\mu$  mit abnehmender Spannung deutlich erkennen. Die Versuche bestätigen somit die gewöhnliche Hypothese, wonach die Spannung in der Mündungsebene gleich ist der Aussenspannung, keineswegs; es zeigt sich vielmehr, dass nur dann, wenn  $p_0 = 1.9 p_1$ , die Hypothese giltig ist. Je mehr  $p_0$  unter den Grenzwert 1.9  $p_1$  sinkt, um so grösser ist das Verhältniss zwischen der Spannung in der Mündung und der Aussenspannung.

Man kann nun leicht erkennen, warum die einfachere Formel:

$$G = C k \sqrt{p_0 - p_1}$$

recht gut auf die Versuche passt. Die genaue Formel:

$$G = \frac{k p_1}{R T_1} \sqrt{\frac{2 g x}{x-1}} R T_1 \left[ \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right]$$

lässt sich schreiben:

$$G = \frac{k p_1}{\sqrt{R T_1}} \sqrt{\frac{2 g x}{x-1}} \left[ \left( 1 + \frac{p_0 - p_1}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right].$$

Entwickelt man  $\left( 1 + \frac{p_0 - p_1}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}}$  in eine Reihe und behält nur die zwei ersten Glieder, so kommt:

$$G' = \frac{k p_1}{\sqrt{R T_1}} \sqrt{2 g \left( \frac{p_0}{p_1} - 1 \right)}.$$

Das Verhältniss:

$$\frac{G'}{G} = \sqrt{\frac{\left( \frac{p_0}{p_1} - 1 \right)}{\frac{x}{x-1} \left[ \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right]}}$$

wird aber um so kleiner, je kleiner  $\frac{p_0}{p_1}$  wird, oder je mehr die Innenspannung abnimmt, woraus denn folgt, dass die abgekürzte Formel auch gewissermaassen die durch  $\mu$  zu erreichende Correctur enthält.

Man kann die vereinfachte Formel noch brauchbarer und elastischer machen, indem man statt der Wurzel überhaupt eine gebrochene Potenz einführt, dann wird deren Gestalt:

$$G' = \frac{k p_1}{\sqrt{R T_1}} C \left( \frac{p_0}{p_1} - 1 \right)^{\xi}.$$

$C$  und  $\xi$  können nun so bestimmt werden, dass für

$$\frac{p_0}{p_1} = 1.9, G' = G = \frac{\alpha k p_0}{\sqrt{R T_0}}, \text{ für irgend einen anderen}$$

Werth von  $\frac{p_0}{p_1}$ , z. B. den von Versuch 17,  $G' = G$  p. wird, also:

$$G' = 0.965 \frac{k p_1}{\sqrt{R T_1}} \sqrt{\frac{2 g x}{x-1}} \left[ \left( \frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right] \text{ ist.}$$

Weil für

$$\frac{p_0}{p_1} = 1.9, G = \frac{\alpha k p_1}{\sqrt{R T_1}} \cdot \left(\frac{p_0}{p_1}\right) \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} = \frac{\alpha k p_1}{\sqrt{R T_1}} \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{1 - \frac{x-1}{2x}},$$

so muss einerseits:

$$C \left[ \frac{1}{0.5266} - 1 \right]^{\frac{2}{5}} = \alpha \left( \frac{1}{0.5266} \right)^{\frac{2.41}{2.82}}$$

sein, andererseits aber auch:

$$C \left[ \frac{890.4}{720.6} - 1 \right]^{\frac{2}{5}} = 0.965 \sqrt{\frac{2gx}{x-1} \left[ \left( \frac{890.4}{720.6} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right]}.$$

Durch Auswerthung der zwei vorstehenden Bestimmungsgleichungen folgt

$$\xi = 0.464 \log C = 0.59181; C = 3.9067.$$

Will man die unleugbar einfachere und bequemere Quadratwurzel beibehalten, so ist

$$\log C = 0.59348, C = 3.49218.$$

Ein Vorthail der von mir vorgeschlagenen Form ist der, dass in dem Falle, als der Ausflusscoefficient mit dem Durchmesser der Ausflussmündung sich ändern sollte,  $C$  und  $\xi$  dem entsprechend bestimmt werden kann, was bei Beibehaltung der Quadratwurzel selbstverständlich nicht möglich ist.

#### Ausfluss aus einem Rohre ohne Abrundung.

Die bisher behandelten Fälle beziehen sich auf kurze cylindrische Röhren, welche an das Ausflussgefäss mit einer Abrundung anschliessen. Bei solchen Röhren tritt die Luft zwar mit einer grössern Spannung als  $0.5266 p_0$  in den abgerundeten Theil, hat daher eine kleinere Geschwindigkeit, welche aber durch den grösseren Querschnitt ersetzt wird, so dass das ausfliessende Gewicht — bei passender Form der Abrundung —  $G_{\max}$  erreichen kann. Anders verhält es sich, wenn das Rohr scharf ansetzt; hier ist die kleinere Geschwindigkeit und der Eintrittsquerschnitt, welcher dem Austrittsquerschnitt gleich ist, maassgebend für das austretende Luftgewicht. Aus diesem Grunde ist zu erwarten, dass das austretende Luftgewicht die Menge  $G_{\max}$  nicht erreichen wird.

Dr. Zeuner gibt im Anhang zu der im erwähnten Hefte des „Civil-Ingenieurs“ enthaltenen Abhandlung (S. 14) auch für diesen Fall Versuchsdaten.

Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$
1	10.0	1403.5	73.1	0.833	5	10.0	1137.4	55.5	0.814	9	10.4	936.4	40.9	0.808
2	10.0	1330.4	69.1	0.838	6	10.2	1081.9	52.6	0.803	10	10.0	895.5	34.7	0.796
3	10.0	1261.3	63.8	0.817	7	10.0	1029.3	48.0	0.818	11	10.2	860.8	32.2	0.818
4	10.0	1197.5	60.1	0.826	8	10.2	981.3	44.9	0.820					

Auch im jetzigen Falle ist die Abnahme von  $\mu$  mit  $p_0$  deutlich zu erkennen, weshalb auch nun die Form:

$$G' = \frac{k p_1}{\sqrt{R T_1}} C \left( \frac{p_0}{p_1} - 1 \right)^{\frac{2}{5}}$$

anwendbar ist. Man hat nun zur Bestimmung von  $C$  und  $\xi$  die Gleichungen:

Im ersten Falle, d. h. wenn  $p_0 \geq 1.9 p_1$ , lässt sich der Ausflusscoefficient  $\mu$  nach Gleichung 9) berechnen und man findet folgende Werthe:

Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$	Nr.	$\tau$	$p_0$	$p_0 - p'$	$\mu$
1	10.2	2992.7	160.5	0.850	8	9.8	2018.0	103.5	0.832
2	10.1	2832.2	150.6	0.850	9	10.0	1944.5	100.5	0.836
3	10.2	2681.6	143.2	0.846	10	10.0	1844.0	96.0	0.841
4	10.1	2538.4	135.6	0.854	11	10.0	1748.0	91.0	0.841
5	10.0	2403.8	126.7	0.851	12	10.1	1657.0	87.4	0.844
6	10.0	2277.1	117.6	0.834	13	10.2	1569.6	83.4	0.841
7	10.0	2159.5	111.5	0.836	14	9.9	1486.2	77.1	0.843

Kleine, durch die unvermeidlichen Versuchsfehler hervorgerufene Abweichungen abgerechnet, erscheint  $\mu$  als constant. Der mittlere Werth beträgt:  $\mu = 11.799 : 14 = 0.843$ . Die Constanz von  $\mu$  beweist eine Eintrittsspannung, welche zur Innenspannung in constantem Verhältnisse steht; zur Ermittlung dieses Verhältnisses führt die Lösung der Gleichung:

$$y^{\frac{1}{x}} \sqrt{1 - y^{\frac{x-1}{x}}} = \mu \left( \frac{2}{x+1} \right)^{\frac{1}{x-1}} \sqrt{\frac{x-1}{x+1}} \text{ oder}$$

$$y^{\frac{2}{x}} - y^{\frac{x+1}{x}} = \left[ \mu \left( \frac{2}{x+1} \right)^{\frac{1}{x-1}} \right]^2 \frac{x-1}{x+1}.$$

Die Lösung ist einfacher, wenn man  $y^{\frac{1}{x}} = z$  setzt, dann kommt:

$$z^2 - z^{x+1} = \left[ \mu \left( \frac{2}{x+1} \right)^{\frac{1}{x-1}} \right]^2 \frac{x-1}{x+1}$$

und man erhält  $z = 0.89892$  und  $y = 0.8605$ .

Ich glaube nicht, dass zwischen dem Ausflusscoefficienten für ein scharf angesetztes Rohr und jenem für eine scharfkantige Oeffnung in der Wand ein wesentlicher Unterschied sein kann. Somit hätte man für beide Fälle:

$$G_{\max} = 1.8120 \frac{p_0 k}{\sqrt{R T_0}} \log 1.8120 = 0.25816.$$

Zweiter Fall. Die Innenspannung ist kleiner als  $\frac{p_1}{1.9}$ .

Nun ist  $\mu$  nach Gleichung 10) zu bestimmen:

$$d = 5.79^{\text{mm}}; p_1 = 720.6^{\text{mm}}, T_0 = 290.6.$$

$$C \left( \frac{1}{0.5266} - 1 \right)^{\frac{2}{5}} = 0.844 \alpha \left( \frac{1}{0.5266} \right)^{\frac{2.41}{2.82}}$$

$$C \left( \frac{936.4}{720.6} - 1 \right)^{\frac{2}{5}} = 0.808 \sqrt{\frac{2gx}{x-1} \left[ \left( \frac{936.4}{720.6} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right]}.$$

Man findet

$$\xi = 0.473 \text{ und } \log C = 0.51857, \text{ d. h. } C = 3.3005.$$

Weil der Werth von  $\xi$  nun grösser als früher, deshalb nimmt  $\mu$  rascher ab als früher. Uebrigens ist die Bestimmung von  $\xi$  keine so präzise, dass man einen Unterschied von 0.009 zu berücksichtigen braucht. Man kann also nehmen

$$\xi = 0.47$$

und dann ist für ein abgerundetes Rohr  $C = 3.909$  für ein scharf angesetztes dagegen

$$C_1 = 0.843 \times 3.909 = 3.295.$$

Ferner ist  $\log C = 0.59209$  und  $\log C_1 = 0.51786$ .

Zum Schlusse kann man statt der Temperatur  $T_1$  jene des Gases im Ausflussgefässe substituiren, man erhält:

$$G = \frac{C k p_1}{\sqrt{R T_0}} \sqrt{\left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{x-1}{x}}} \left(\frac{p_0}{p_1} - 1\right)^{0.47}$$

Für Luft speciell kann  $\frac{C}{\sqrt{R}}$  auch durch eine Constante gegeben werden, man erhält:

$$\log \frac{C}{\sqrt{R}} = 0.85889 - 1 \text{ und } \log \frac{C_1}{\sqrt{R}} = 0.78521 - 1.$$

Will man  $p_0$  nicht durch den Druck in Kilo pro  $\square^m$ , sondern durch Millimeter Quecksilber ausdrücken, so hat man:

$$\log \frac{C}{\sqrt{R}} = 0.99230 \text{ und } \log \frac{C_1}{\sqrt{R}} = 0.92632.$$

Die Analyse von Zeuner's meisterhaft ausgeführten Versuchen führt demnach auf folgende Sätze:

1. Die grösste Geschwindigkeit, welche ein Gasstrom annehmen kann, ist der Geschwindigkeit gleich, mit welcher der Schall sich im Gase bei der Temperatur  $\left(\frac{2}{x+1} T_0\right)$  des Strahles fortpflanzt.

2. Diese Geschwindigkeit ist für die Ausflussmenge nur dann maassgebend, wenn das kurze cylindrische Ausflussrohr passend abgerundet und die Innenspannung gleich oder grösser als das 1.9fache der Aussenspannung.

3. Für jeden Fall ist die Spannung in der Mündungsebene eines kurzen cylindrischen Ausflussrohres grösser als die Aussenspannung, nur dann, wenn das Rohr abgerundet und die Innenspannung gleich 1.9 der Aussenspannung, ist die Mündungsspannung der Aussenspannung gleich.

4. Der Widerstand, welchen ein kurzes Rohr verursacht, ist gleich Null zu setzen, wenn das Rohr glatt ist.

5. Für ein scharf angesetztes Rohr beträgt der Ausflusscoefficient 0.843; derselbe Werth gilt wahrscheinlich auch für eine scharfkantige Oeffnung in der Wand.

6. Der Ausflusscoefficient wird um so kleiner, je kleiner die Innenspannung im Verhältniss zur Aussenspannung.

Schemnitz am 23. August 1875.

## Recension.

**Der Erdbau** in seiner Anwendung auf Eisenbahnen und Strassen von Wilhelm Heyne, Ober-Ingenieur. Wien, bei Alf. Hölder. Lieferung 1 und 2. 1874—1875. — Preis einer Lieferung 1 fl. 20 kr. = 2 Mark 40 Pfg.

Ueber den in der heutigen Zeit eine so hochwichtige Rolle spielenden Erdbau besassen wir bisher nur ein deutsches Werk, das bereits in dritter Auflage erschienene und anerkannt gute Werk von L. Henz (III. Aufl. von W. Streckert). Immerhin aber kann es als eine dankbare Aufgabe erscheinen, neben diesem, vom rein praktischen Standpunkte abgefassten und manche neuere Errungenschaften zu wenig berücksichtigenden Buche ein zweites Buch zu schreiben. In der That war auch der durch sein Werk über „Traciren der Eisenbahnen“ ehrenvoll bekannte Verfasser, Herr Heyne, bemüht, sein Buch dem modernen Standpunkte des Erdbaus möglichst anzupassen, und seine vieljährigen Erfahrungen auf diesem Gebiete zu verwerthen. Der Inhalt der vorliegenden zwei ersten Lieferungen ist folgender: Der I. Abschnitt handelt von der Bodengewinnung. Nach einer kurzen geologischen Skizze werden die Terrain-Sondirungen, sodann die Gewinnung leichter Bodengattungen und hierauf die Felsensprengungen behandelt; der Verwendung des Dynamites wird hiebei entsprechend Rechnung getragen; die Kostentabelle auf Seite 71 enthält aber Irrthümer, da sich hiernach die Sprengkosten mit Dynamit höher stellen, als die mit Pulver. Der II. Abschnitt behandelt die Verführung des gewonnenen Materials; zunächst werden die Verladung und die Fördergefässe ziemlich ausführlich besprochen und durch gute Figuren erläutert, und sodann wird die Verführung selbst behandelt.

In diesem zweiten Abschnitte ist auch eine Transport-Theorie aufgestellt, welcher wir uns indess nicht anschliessen können. Da die Angaben für die Verführungskosten hierauf basirt sind, so wollen wir in Folgendem kurz den gewählten Gang citiren. Wir wählen nur beispielsweise den Transport durch Kippkarren und setzen voraus, dass ein Kippkarren durch einen Mann gezogen werde. Die in der Zeiteinheit vom Arbeiter verrichtete Arbeit besteht aus vier Theilen: 1. Der Arbeiter macht in jeder Secunde einen Schritt und hat für die Bewegung seines eigenen Gewichtes  $G$  parallel zur Bahn die Arbeit  $G \frac{v^2}{2g}$  zu verrichten, wenn  $v$  die Transportgeschwindigkeit,  $g$  die Beschleunigung der Schwere bedeutet. 2. Der Arbeiter hat bei jedem Schritte seinen eigenen Schwerpunkt um  $h$  zu heben, wozu die Arbeit  $G' h$  erforderlich ist. 3. Bei einer Steigung mit dem Neigungswinkel  $\alpha$  ist ausserdem noch die Arbeit  $G' v \sin \alpha$  erforderlich. 4. Die zum Ziehen des Karrens vom Gewichte  $W$  nebst Ladung von dem Gewichte  $G$  nöthige Arbeit ist  $(G + W)(f + \sin \alpha) v$ , wenn  $f$  den Widerstands-Coefficienten,  $\alpha$  die Neigung der Bahn bezeichnet. Sonach ist die gesammte Leistung  $L$ :

$$L = G' \left( \frac{v^2}{2g} + h + v \sin \alpha \right) + (G + W) (f + \sin \alpha) v.$$

Bei der Rückfahrt mit leerem Karren ist  $G = 0$  und  $-\sin \alpha$  für  $\sin \alpha$  zu setzen. Nimmt man das Mittel für Hin- und Rückfahrt, so erhält man

$$L = G' \left( \frac{v^2}{2g} + h \right) + \frac{1}{2} G (f + \sin \alpha) v + W f v.$$

Die Hebung  $h$  des Schwerpunktes wird proportional der Geschwindigkeit  $v$ , und zwar  $= 0.047 v$  gesetzt, was im Allgemeinen nicht richtig ist. Als ein Hauptfehler aber ist zu bezeichnen, dass die Geschwindigkeit  $v$  constant angenommen wird, gleichgültig, ob der Arbeiter mit vollem oder leerem Karren, auf der Horizontalen oder auf der Steigung fährt, und dass auch die Leistung  $L$  als constant, nämlich  $= 9.5 \text{ km}$  angenommen wird. Es sind demnach die über diesen Gegenstand gemachten Erfahrungen, welche sich zum Theil in den Formeln von Euler, Bouguier, Couvier, Gerstner und Maschek aussprechen, ganz unberücksichtigt geblieben.

Immerhin aber müssen wir das Buch bestens empfehlen, da es mit Fleiss gearbeitet ist und eine grosse Menge nützlicher Daten enthält.

Die Ausstattung des Werkes ist besonders zu loben.

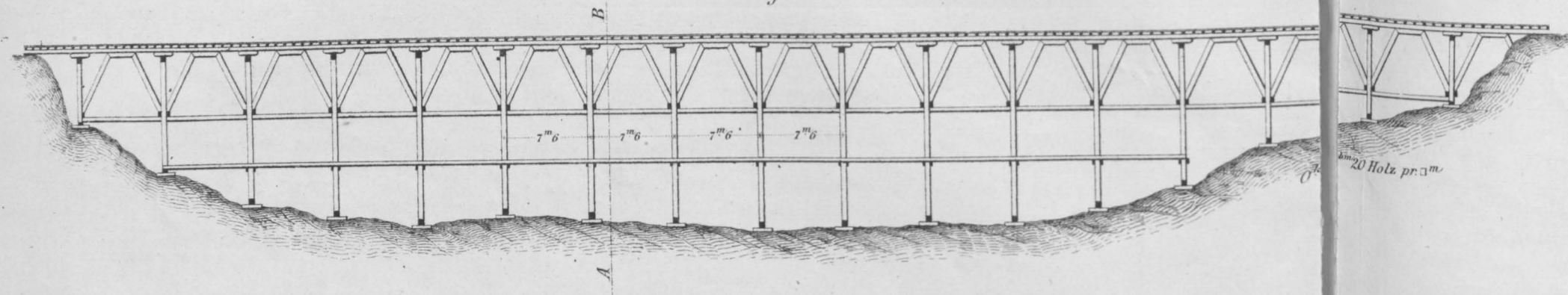
Es sind noch zwei bis drei weitere Lieferungen in Aussicht gestellt, welche die Herstellung von Dämmen und Einschnitten und die Arbeiten zur Versicherung derselben behandeln sollen.

E. Winkler.



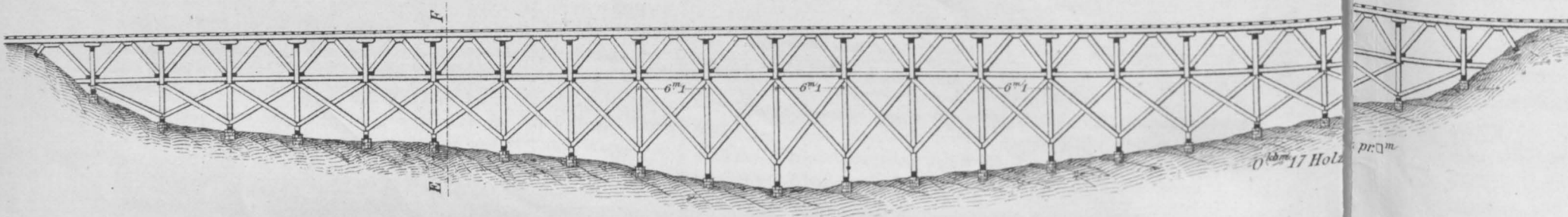
Louisville, Cincinnati & Lexington R.R.

Fig. 1.



Philadelphia & Reading R.R.

Fig. 2.



Central Pacific R.R.

Fig. 3.

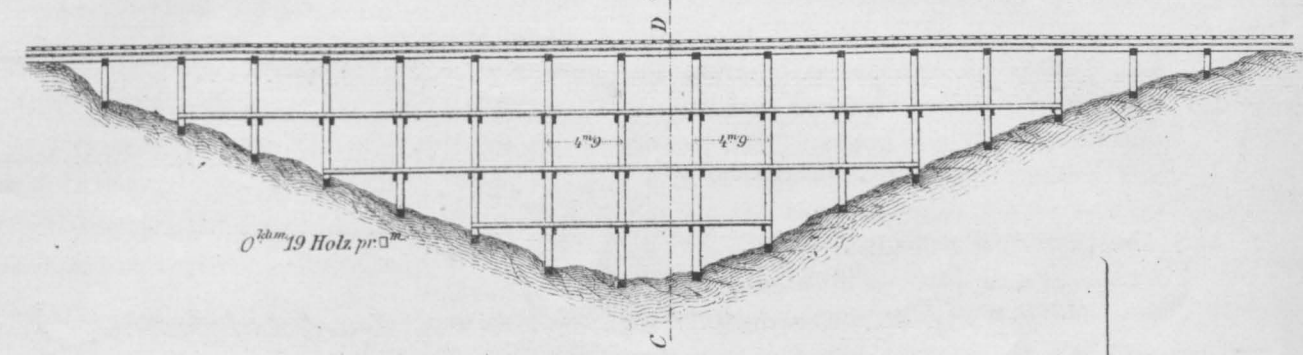


Fig. 4.

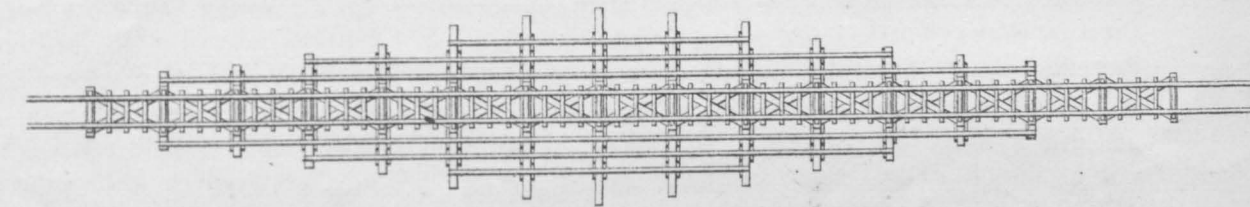


Fig. 5.  
Schnitt A.B.

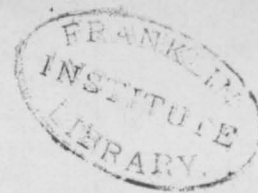
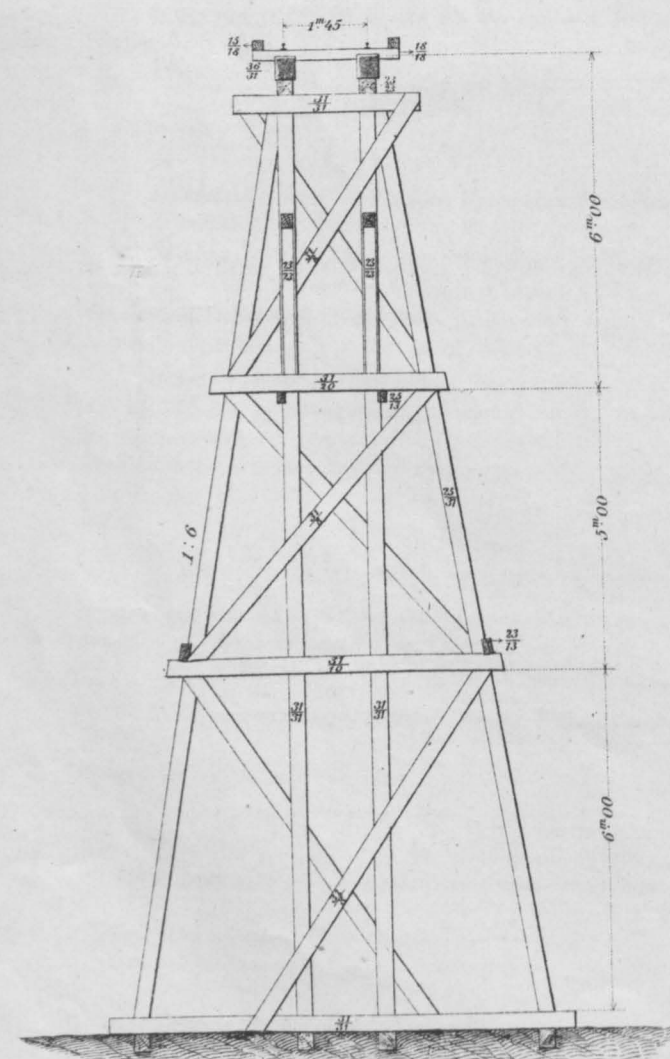


Fig. 6.  
Schnitt C.D.

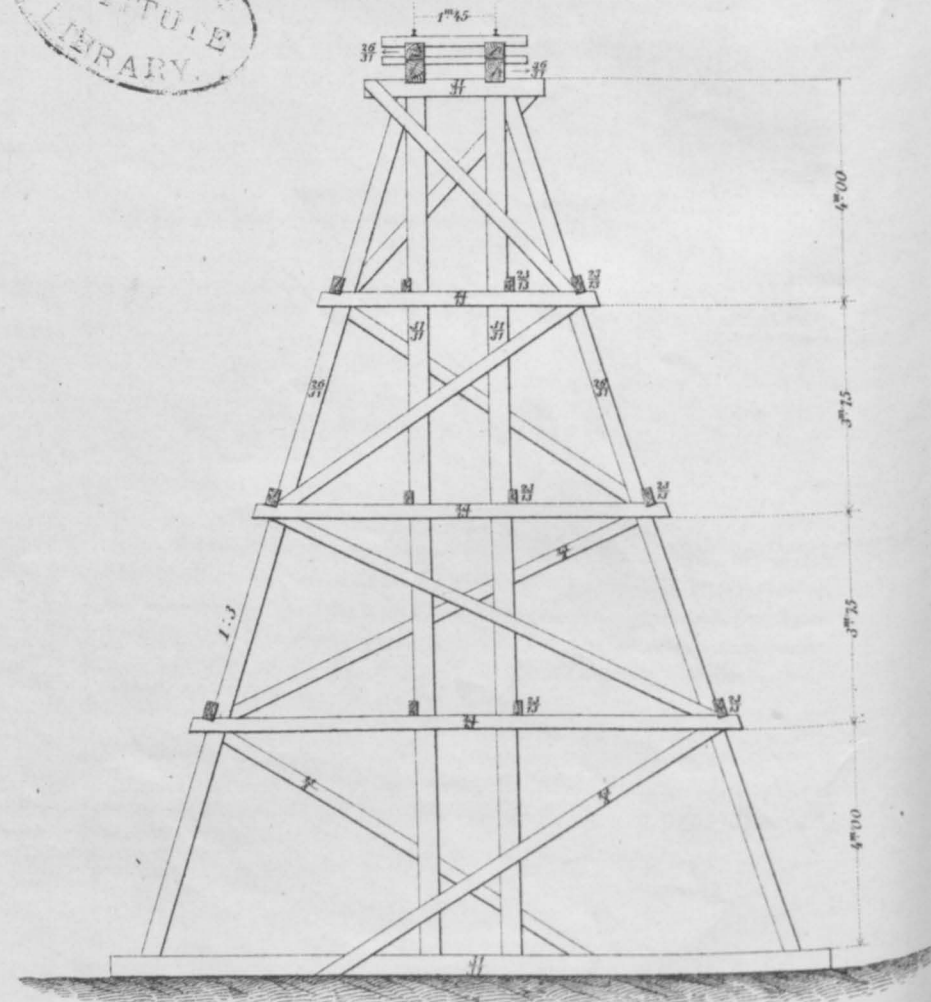


Fig. 7.  
Schnitt E.F.

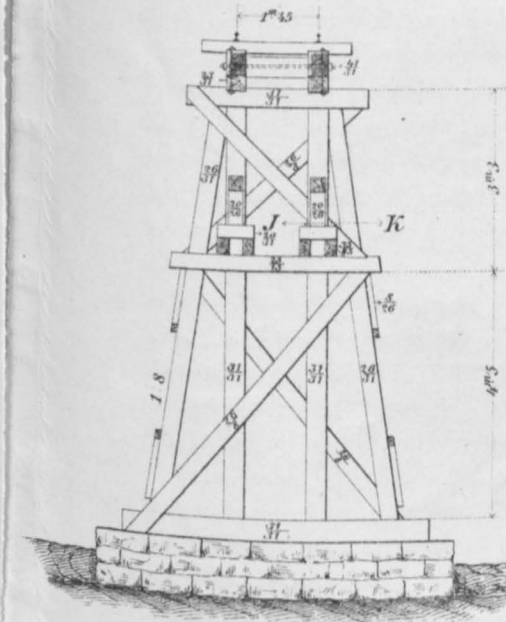


Fig. 8.  
Schnitt J.K.

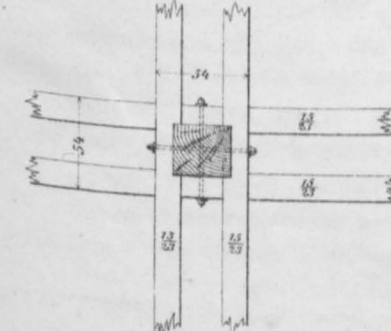


Fig. 11.  
Schnitt G.H.

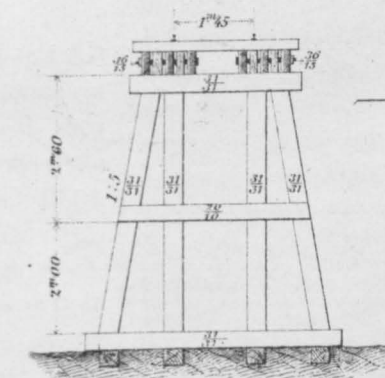
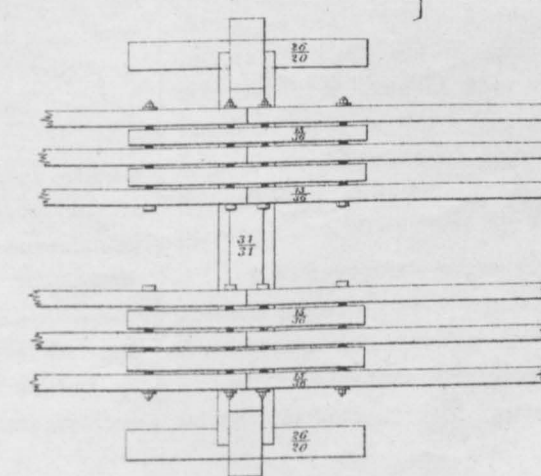


Fig. 12.



Union Pacific R.R.

Fig. 9.

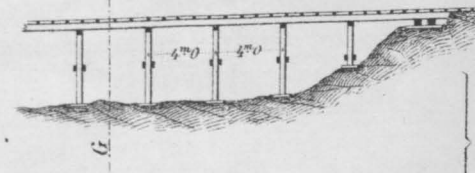


Fig. 10.

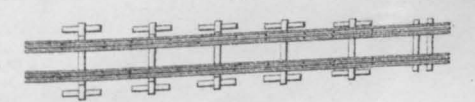
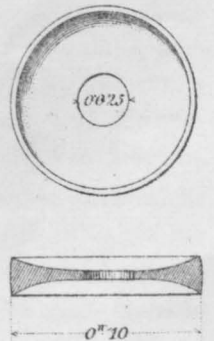


Fig. 13.  
(1 : 4)



Für Fig. 1, 2, 3, 4, 9 u. 10. 0m002 - 1m0 (300)  
 „ Fig. 5, 6, 7 u. 11. 0m008 - 1m0 (75)  
 „ Fig. 8 u. 12. 0m013 - 1m0 (75)